

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Промышленная теплоэнергетика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка мероприятий по рациональному использованию тепловых ресурсов в здании вагонного участка «Томск-2» в г. Томске

УДК 697.34.658.018:629.44 (571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Шарохин Артем Вадимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова	Е.Е. Бульба	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	М.В. Василевский	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отделения социально- гуманитарных наук	Н.Г. Кузьмина			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения/НОЦ/ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	А.М. Антонова	к.т.н., доцент		

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р3	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять комплексные инженерные проекты с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
Р11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
Р12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
Р14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
Р15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Промышленная теплоэнергетика

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель

профиля

Е.Е. Бульба

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-5БЗБ1	Шарохин Артем Вадимович

Тема работы:

Разработка мероприятий по рациональному использованию тепловых ресурсов в здании вагонного участка «Томск-2» в г. Томске

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 2794/с от 20.04.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

04.06.2018

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатраты; экономический анализ и т. д.).

*Выпускная работа предусматривает разработку комбинированной системы отопления вагонного депо в г. Томске.
Район строительства: г. Томска;
Параметры наружного воздуха: $t = -39^{\circ}\text{C}$;
Параметры внутреннего воздуха: $t = 18^{\circ}\text{C}$
влажность нормальная;
Ориентация главного фасада: Юг;
Источник теплоснабжения: местные теплосети;
Параметры теплоносителя: $135-70^{\circ}\text{C}$
Пол неутеплённый, расположен на грунте.
Назначение здания – производственное с нормальным режимом.*

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Говоря о инженерном обеспечении зданий вагонных депо необходимо отметить, что большую и зачастую решающую роль играет обеспечение микроклимата, т.е. создание комфортных условий посредством поддержания требуемой температуры и чистоты воздуха в помещении. Следует отметить, что все помещения производственные помещения депо имеют большие размеры и требуют значительных затрат тепла на поддержание в них требуемых температур. В связи с этим, в инженерной практике до настоящего времени присутствует комплекс вопросов связанных разработкой мероприятий по рациональному использованию тепловых ресурсов в здании вагонного депо.
--	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	А1 - 7 чертежей 18 слайдов
--	-------------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
---	--

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кузьмина Н.Г., старший преподаватель Отделения социально-гуманитарных наук
Социальная ответственность	Василевский М.Н., доцент Отделения контроля и диагностики

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.12.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Бульба Елена Евгеньевна	К.Т.Н.		01.12.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Шарохин Артем Вадимович		01.12.2017

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группы	ФИО
3-5БЗБ1	Шарохин Артем Вадимович

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностной оклад научного руководителя - 26300 руб. Должностной оклад инженера – 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизации – 20%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Ставка по отчислениям во внебюджетные фонды – 30% от ФОТ
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Планирование НИР
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Смета затрат на проектирование
3. Определение ресурсной(ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет экономической эффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель	Кузьмина Н.Г.			01.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Шарохин Артем Вадимович		01.03.2018

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группы	ФИО
3-5БЗБ1	Шарохин Артем Вадимович

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Моторвагонное депо в г. Томск

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Общие положения

Анализ условий труда при прокладке тепловых сетей

2. Безопасность грузоподъемных механизмов

Расчеты устойчивости грузоподъемных механизмов при укладке труб

3. Индивидуальные и коллективные средства защиты работающих

Средства коллективной и индивидуальной защиты от вредных и опасных производственных факторов

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2018
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	Василевский М.В.	к.т.н.		01.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5БЗБ1	Шарохин Артем Вадимович		01.03.2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Обзор литературы.....	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	9
1.1 Генеральный план	9
1.2 Объемно-планировочное решение депо	10
2 РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	12
2.1 Система отопления и вентиляции здания депо	12
2.1.1. Определение теплотерь здания.....	12
2.1.2 Расчет потерь теплоты на нагревание вентиляционного воздуха, подаваемого в помещение	18
2.2 Водяная система отопления	22
2.2.1 Тепловой расчёт отопительных приборов водяной системы отопления .	22
2.2.2 Гидравлический расчёт водяной системы отопления	25
2.3 Комбинированная система лучистого отопления и вентиляции.....	27
2.3.1 Расчет комбинированной системы лучистого отопления и вентиляции .	29
2.4 Выбор и расчёт тепловой завесы	37
2.5 Источник теплоснабжения	43
2.6 Тепловой расчет тепловой сети	44
2.7 Индивидуальный тепловой пункт	47
2.7.1 Расчёт водоводяного подогревателя системы отопления	52
2.7.2 Расчёт водоводяных подогревателей 1 и 2 ступеней системы горячего водоснабжения.....	53
2.7.3 Расчет и построение повышенного температурного графика	58
2.8 Автоматика индивидуального теплового пункта	61
3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	64
3.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения	64

3.2 Смета затрат на проект	65
3.3 Смета затрат на оборудование	68
3.4 Расчет экономической эффективности проекта.....	69
4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	70
4.1.Анализ условий труда при прокладке тепловых сетей	70
4.2.Расчеты устойчивости грузоподъемных механизмов при укладке труб.....	73
4.3.Средства коллективной и индивидуальной защиты от вредных и опасных производственных факторов	81
Результаты исследования	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	84
Список использованной литературы.....	86
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	88

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 100 _____ с., _____ 8 _____ рис., _____ 10 _____ табл., _____ 13 _____ источников.

Ключевые слова: вагонное депо, радиатор отопления, лучевое отопление, дежурное отопление, теплообменник, индивидуальный тепловой пункт.

Объектом исследования является (ются) здание вагонного участка РЖД в г. Томске

Цель работы – разработка эффективной комбинированной системы отопления моторвагонного депо взамен существующего электроотопления

В процессе исследования проводились: расчет потребности в тепле здания депо, расчет лучистого и дежурного отопления, расчет и подбор теплообменных аппаратов индивидуального теплового пункта.

В результате исследования: подобраны отопительные приборы лучистого и дежурного отопления, подобраны теплообменные аппараты.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Потери теплоты, мощность системы отопления, поверхность теплообмена.

Экономическая эффективность/значимость работы: применение комбинированной системы водяного отопления моторвагонного депо взамен существующего электроотопления является эффективным мероприятием, направленными на экономию денежных средств.

В будущем планируется Предложить данный проект для реализации на здании вагонного участка РЖД в г. Томске, так как он является экономически эффективным для бюджета предприятия.

Обзор литературы

При написании данной работы были использованы: научная и учебно-методическая литература, а также нормативные документы Российской Федерации.

Основным источником, раскрывающим основы проектирования систем отопления, является учебное пособие Богословского В.Н., Сканава А.Н. В данном пособии подробно рассмотрены расчеты различных систем отопления.

В состав расчета системы отопления входит расчет теплопотерь ограждающими конструкциями и на инфильтрацию, подбор отопительных приборов, а также гидравлический расчет.

Для расчета и подбора теплообменных аппаратов индивидуального теплового пункта использован свод правил по проектированию и строительству тепловых пунктов СП 41-101-95.

ВВЕДЕНИЕ

Целью дипломного проекта является разработка эффективной комбинированной системы отопления моторвагонного депо взамен существующего электроотопления.

Для определения тепловой нагрузки системы теплоснабжения депо оценены потери теплоты здания цеха с учётом его функционального назначения и санитарно-гигиенических требований. Потери теплоты на отопление и вентиляции определялись по отдельным ограждениям здания.

Основным теплотехническим оборудованием депо является автоматизированный комплекс для ремонта колёсных пар, включающий машину для мойки колёсных пар и машину для мойки букс. В проекте рассмотрены конструкции машин.

Для дежурного отопления помещений депо выбрана водяная двухтрубная система с нижней разводкой трубопроводов и чугунными радиаторами. По просьбе руководства депо в качестве отопительных приборов в водяной системе отопления приняты чугунные радиаторы МС-140-500. Произведён гидравлический расчёт водяной системы отопления с помощью компьютерной программы ПРОЕКТ, разработанной на кафедре Т и В на железнодорожном транспорте, а также тепловой расчёт. Для основного отопления и вентиляции помещения депо в дипломном проекте предусмотрена комбинированная система лучистого отопления и вентиляции с теплоносителем водой температурой 130-70⁰С. Произведён расчёт системы.

Для предотвращения потерь теплоты при входе и выходе из депо подвижного состава для всех ворот депо рассчитаны и выбраны воздушно-тепловые завесы.

В помещении депо расположен индивидуальный тепловой пункт. Система отопления присоединена по независимой схеме, система ГВС - по зависимой. Приняты к установке разборные пластинчатые водоподогреватели, произведён их расчёт.

В разделе автоматики рассмотрена автоматизация индивидуального теплового пункта, контроллер для регулирования температуры в системах отопления и горячего водоснабжения ТРМ32 (терморегулятор).

В разделе охрана труда рассмотрены организационно-технические мероприятия по охране труда при монтаже системы теплоснабжения.

1 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Генеральный план

Депо расположено в городе Томск. На территории депо расположено основное здание депо, к нему примыкают мастерские, рядом расположен административный корпус. Теплоснабжение данных сооружений осуществляется от отопительной котельной, расположенной на территории депо.

Генеральный план депо изображен на рис.1.

Инженерные коммуникации (электроэнергия, вода, канализация) подведены к территории депо с южной стороны.

Расчётная температура наружного воздуха – 39 °С (Параметры Б, холодный период года) – по СП 131.13330.2012 Строительная климатология.

Температура воздуха внутри помещений +18°С, температура воздуха внутри помещений при дежурном отоплении +5 °С – по СП 30.06.2012 Тепловая защита зданий.

Пол неутеплённый, расположен на грунте.

Назначение здания – производственное с нормальным режимом.

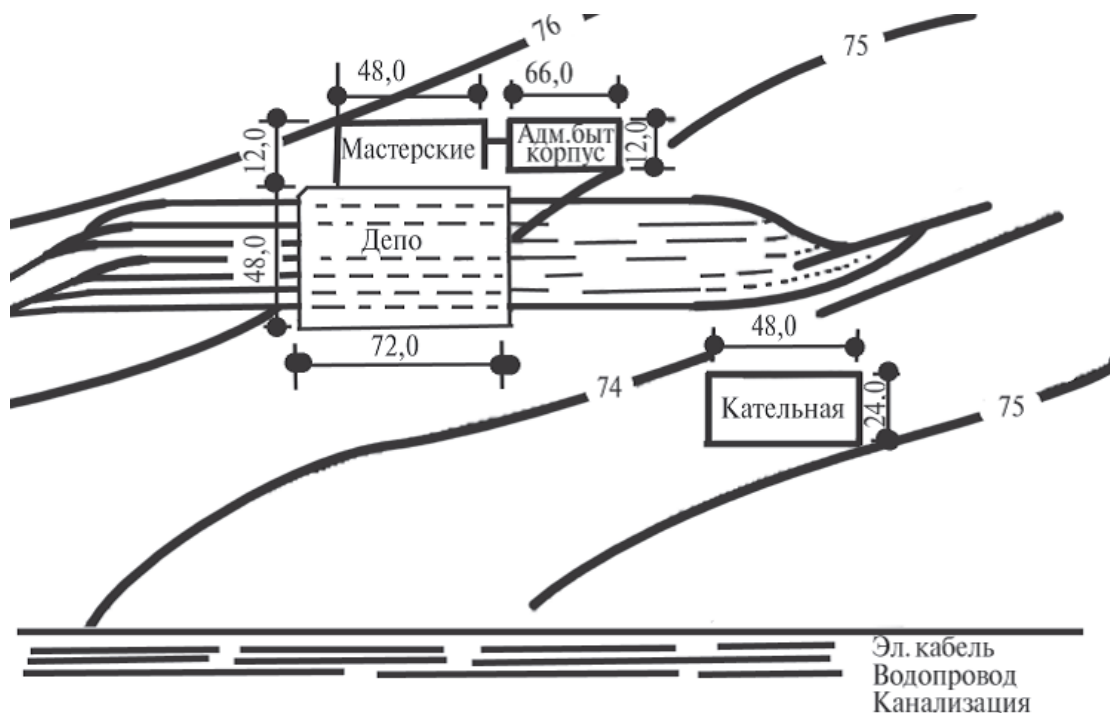


Рисунок 1 – Генплан депо

1.2 Объемно-планировочное решение депо

В депо производится подъемный, большой периодический, малый периодический ремонт, предупредительный осмотр тепловозов и все виды починки вагонов и кранов.

Ввод тепловозов и вагонов в сооружение депо выполняется с помощью конвейеров. Для осмотра ходовых частей и тяговых двигателей предусмотрено приспособление смотровых канав, оснащенных сетью сжатого воздуха и низковольтным освещением. Для способности произвести выкатку колесной пары из-под тепловоза предусмотрено стойло.

Для починки кузовов вагонов стойла оборудованы универсальной самоходной машиной и щитом для правки рам вагонов. Установка и демонтирование тепловозов и кранов, а еще подача материалов и запасных частей осуществляется с помощью мостовых кранов грузоподъемностью 10, 10 и 5 т, поставленных в цехе ремонта тепловозов. Здание депо выполнено из металлического каркаса и обшито сэндвич-панелями. Крыша здания двухскатная. Здание одноэтажное.

Спецификация помещений депо приведена ниже:

1. Стойловое отделение и отделение периодического ремонта;
2. Отделение аккумуляторов и электроаппаратуры;
3. Электромашинное отделение;
4. Механическое отделение;
5. Колёсотокарное отделение;
6. Комплектовочная роликовых подшипников;
7. Кладовая;
8. Отделение восстановления деталей;
9. Столярное отделение;
10. Комната мастеров;
11. Слесарное отделение;
12. Хозяйственное отделение;
13. Помещение ИТП;
14. Трансформаторная;

15. Компрессорная; 16. Коридор.

2 РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Система отопления и вентиляции здания депо

2.1.1. Определение теплотерь здания

При проектировании системы отопления необходимо определить её тепловую мощность с учётом особенности теплового режима помещений. В помещениях с постоянным тепловым режимом мощность определяется по их тепловому балансу. В помещениях с переменным тепловым режимом при определении тепловой мощности выделяют два периода - рабочий и нерабочий. Отопление, рассчитанное только на период нерабочего времени, называется дежурным отоплением. В соответствии с нормативными требованиями, в этом случае в помещении предусматривается поддержание температуры не ниже +5 °С с обеспечением восстановления нормируемой температуры к началу работы в нём.

В тепловом балансе учитывают потери теплоты через ограждающие конструкции помещений при расчётной температуре наружного воздуха, потери теплоты на нагревание наружного инфильтрационного и вентиляционного воздуха, а также находящихся в помещении единиц подвижного состава, материалов, оборудования, регулярно поступающие в помещения тепловые потоки от технологического оборудования, электрических приборов, освещения, людей и др.

Тепловая мощность отопительного элемента отдельного помещения

$$Q_{ci} = Q_{i\text{пот}} + Q_{i\text{пост}}$$

где $Q_{i\text{пот}}$ - суммарные потери теплоты в помещении;

$Q_{i\text{пост}}$ - суммарные тепловые потоки, поступающие в помещение.

Тепловая мощность всей системы отопления

$$Q_c = \sum Q_{ci} = \sum Q_j = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 - Q_5 - Q_6 - Q_7$$

где Q_j - основные отдельные составляющие теплового баланса.

В системе отопления неизбежны дополнительные тепловые потери, повышающие её установочную мощность относительно расчётной

$$Q_{уст} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot k_{доп} \cdot Q_c$$

где $\beta_1 = 1,02 \div 1,13$ - коэффициент, учитывающий потери, связанные с увеличением площади отопительных приборов по сравнению с расчётной;

$\beta_2 = 1,02 \div 1,1$ - коэффициент, учитывающий потери связанные с размещением отопительных приборов около наружного ограждения;

$k_{доп}$ - коэффициент, учитывающий попутную теплопередачу через стенки теплопроводов ($k_{доп} \cdot \beta_1 \leq 1,07$).

Потери теплоты через ограждающие конструкции - тепловой поток через поверхность ограждения, Вт/(м²·К)

$$Q_l = K \cdot F \cdot (t_{п} - t_{н}) \cdot n \cdot (1 + \sum \beta_i)$$

где $K = 1/R$ - коэффициент теплопередачи Вт/(м²·К);

R - общее сопротивление теплопередаче, (м²·К)/Вт;

F - поверхность ограждения, м²;

$t_{п}$ - температура помещения (в большинстве случаев можно принимать

$t_{п} = t_{в}$);

$t_{в}$ - температура воздуха внутри помещения, °С;

$t_{н}$ - температура наружного воздуха, °С;

n - поправочный коэффициент фактического уменьшения расчётного значения ($t_{п} - t_{н}$);

β_i - коэффициенты, учитывающие добавочные потери через ограждения, в долях от основных тепловых потерь. Для производственных и бытовых зданий в том числе с входами, оборудованными тепловыми завесами, в дополнительные тепловые потери входят:

- добавки на ориентацию ограждений по сторонам горизонта (для наружных вертикальных и наклонных ограждений, обращённых на север, северо-

восток, северо-запад, восток принимают в размере 0,1; на запад и юго-восток – 0,05);

- добавки в угловых помещениях (для вертикальных ограждений принимают в размере 0,05);
- добавка на высоту помещений (принимают в размере 0,02 на каждый метр высоты сверх 4 м, но не более 0,15).

Для всех конструкций ограждения, за исключением полов, расположенных непосредственно на грунте, общее сопротивление теплопередаче

$$R = R_{\alpha} + R_{\lambda} + R_{\text{вп}}$$

где $R_{\alpha} = 1/\alpha_1 + 1/\alpha_2$ - сопротивление теплообмену на внешней и внутренней поверхностях ограждающей конструкции;

α_1 и α_2 коэффициенты теплоотдачи для указанных поверхностей, Вт/(м²·К);

$R_{\lambda} = \sum \delta_i / \lambda_i$ - термическое сопротивление материальных слоёв ограждающей конструкции, (м²·К)/Вт;

δ_i - толщина отдельного слоя, м;

λ_i , Вт/(м·К) - коэффициент теплопроводности отдельного слоя;

$R_{\text{вп}}$ - термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки, расположенной в толще ограждающей конструкции, (м²·К)/Вт.

В том случае, когда материал ограждающих конструкций неоднороден в направлении, параллельном тепловому потоку, общее сопротивление теплопередаче можно определить из соотношения

$$R = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / \alpha_2 \cdot (t_{\text{в}} - \tau_{\text{в.ср}}) = (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) / \alpha_1 \cdot (t_{\text{н}} - \tau_{\text{н.ср}})$$

где $\tau_{\text{в.ср.}}$ - средняя температура внутренней поверхности конструкции ограждения, °С;

$\tau_{\text{н.ср.}}$ - средняя температура наружной поверхности конструкции ограждения, °С

.

Для полов, расположенных на грунте, теплопотери через ограждение рассчитывают по зонам. Для этого поверхность пола разбивают на полосы шириной 2 м параллельные стенам. Каждая полоса, примыкающая к стене, считается 1 зоной, следующая – 2 зоной и т.д. (рисунок 2). Для неутеплённых полов: в 1 зоне $R=2,1$; во 2 зоне - $R=4,3$; в 3 зоне - $R=8,6$; в 4 зоне $R=14,2$, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$).

Полученное общее сопротивление теплопередаче должно быть не меньше значений требуемого сопротивления теплопередаче, $R_{0\text{тр}}$, определяемых исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий и условий энергосбережения.

Потери теплоты на нагревание инфильтрационного воздуха

$$Q_2 = G_{\text{инф}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot \gamma$$

где $G_{\text{инф}}$ - расход инфильтрационного наружного воздуха в помещение, кг/с; $c \approx 1$ кДж/(кг·К) - удельная массовая теплоёмкость воздуха; γ - коэффициент учитывающий влияние встречного теплового потока (для окон и дверей с отдельными переплётами - 0,8; для окон и дверей со спаренными переплётами - 1; для стыков панелей стен и окон с тройными переплётами - 0,7).

В соответствии с нормативным методом расчета инфильтрации наружного воздуха, принятом в Российской Федерации, количество инфильтрационного воздуха, поступающего в помещение через наружные стены, покрытия, ворота, двери и открытые проемы, определяют по формуле:

$$G_{\text{инф}} = F \cdot \Delta p^m / R_{\text{и}},$$

где Δp - разность давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции, Па;

m - показатель степени, принимаемый в зависимости от вида ограждений;

$R_{\text{и}}$ - сопротивление воздухопроницанию ограждений, $\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}/\text{кг}$.

Потери теплоты на нагревание вентиляционного воздуха, подаваемого в помещение,

$$Q_3 = G_{\text{вент}} \cdot c_{\text{пс}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$$

где $G_{\text{вент}}$ - расход вентиляционного воздуха, кг/с

При поступлении в помещение подвижного состава, партий материалов и т.д. массой $G_{\text{пс}}$, кг, с температурой ниже температуры воздуха в помещении, затраты теплоты на их нагрев составляют

$$Q_4 = G_{\text{пс}} \cdot c_{\text{пс}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot \zeta$$

где $c_{\text{пс}}$ - средняя удельная массовая теплоёмкость, Дж/(кг·К);

$t_{\text{пс}}$ - температура, при которой подвижной состав (партия материала) поступает в помещение, °С;

ζ - поправочный коэффициент, учитывающий изменение температуры подвижного состава за интервал времени с начала его нагрева в помещении (для первого часа нагрева - 0,5, для второго - 0,3, для третьего - 0,2).

Поступления теплоты от людей. При расчёте теплового баланса помещения учитывают только явные тепловыделения людей, находящихся в помещении. В зависимости от интенсивности выполняемой в помещении работы и теплозащитных свойств одежды эти тепловыделения определяют в виде

$$Q_5 = \chi_1 \cdot \chi_2 \cdot (2,16 + 8,87 \cdot w^{0,5}) \cdot (35 - t_{\text{в}})$$

где χ_1 - коэффициент, учитывающий интенсивность выполняемой человеком физической работы (для лёгкой работы - 1, для средней - 1,07 для тяжёлой - 1,15);

χ_2 - коэффициент, учитывающий теплозащитные свойства одежды (для лёгкой одежды - 1, для одежды средней утеплённости - 0,65, для утеплённой одежды - 0,4);

w - подвижность воздуха в помещении, м/с.

Поступления теплоты от освещения и электрооборудования. При электрическом освещении и работающем в помещении электрооборудовании такие тепловыделения определяют из соотношения

$$Q_6 = N_э \cdot \eta_э$$

где $N_э$ - потребляемая электрическая мощность, Вт;
 $\eta_э$ - коэффициент, учитывающий фактическое использование мощности, загрузку, одновременность работы оборудования и долю преобразования в помещении электрической энергии в тепловую ($\eta_э = 0,15 \div 0,95$ в зависимости от технологии и времени работы оборудования в тепловом балансе учитывают его наименьшее значение).

Поступления теплоты от технологического оборудования. Работающее в помещении технологическое оборудование (печи, горны, моечные и сушильные установки и др.) может быть источником существенных тепловыделений, величину которых Q_7 определяют расчётом по технологическому процессу.

Анализ составляющих теплового баланса указывает на необходимость выбора регулируемых систем отопления, так как их мощность может значительно изменяться за отопительный период.

Сделаем допущение, что потери теплоты на инфильтрацию равны теплопритокам от $Q_5 + Q_6 + Q_7$. Нагрев подвижного состава (при поступлении его в помещение) с температурой ниже температуры воздуха в помещении осуществляется тепловыми завесами.

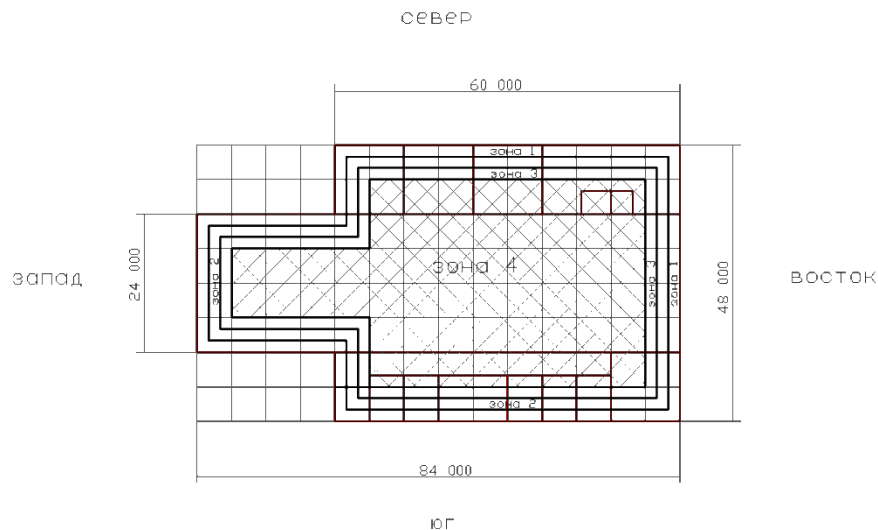


Рисунок 2 – Разбивка поверхности пола на зоны 1-4

2.1.2 Расчет потерь теплоты на нагревание вентиляционного воздуха, подаваемого в помещение

$$Q_3 = G_{\text{вент}} \cdot c \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$$

где $G_{\text{вент}}$ – расход вентиляционного воздуха, кг/с.

Расход вентиляционного воздуха определяем в результате расчета воздухообмена. Последовательность расчета требуемого воздухообмена следующая:

- 1) задаются параметры приточного и удаляемого воздуха
- 2) определяют требуемый воздухообмен для заданного периода по вредным выделениям, людям и минимальной кратности.
- 3) выбирается максимальный воздухообмен из всех расчетов по разным факторам и рассчитывается

$$G_{\text{вент}} = L \cdot \rho / 3600.$$

Воздухообмен по нормативной кратности.

Определяется по формуле:

$$L = K_{\text{Pmin}} \cdot V_{\text{P}}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где K_{Pmin} – минимальная кратность воздухообмена, 1/ч.

V_P – расчетный объем помещения, m^3 ,

$$V_P = 24 \cdot 84 \cdot 8,5 + 60 \cdot 12 \cdot 6 = 25776 \text{ м}^3.$$

По нормативным данным принимаем $K_{Pmin} = 1,5$ (1/ч)

$$L = 25776 \cdot 1,5 = 38664 \text{ , м}^3/\text{ч}$$

Воздухообмен по людям.

Определяется по формуле:

$$L = n_L \cdot l_L, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где l_L – воздухообмен на одного человека, $m^3/\text{ч} \cdot \text{чел}$;

$$l_L = 60 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{чел};$$

n_L – количество людей в помещении.

Принимаем $n_L = 120$ человек;

$$L = 120 \cdot 60 = 7200 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Воздухообмен по углекислому газу.

Определяется по формуле:

$$L = \frac{M_{CO_2} \text{ м}^3/\text{ч}}{Y_{ПДК} - Y_{П}}$$

где M_{CO_2} – количество выделяющегося CO_2 , г/ч,

$$M_{CO_2} = 45 \cdot n \cdot \rho, \text{ г/ч};$$

$$M_{CO_2} = 45 \cdot 120 \cdot 1,1 = 5940 \text{ г/ч.}$$

УПДК – предельно-допустимая концентрация CO_2 в воздухе, $г/м^3$, при
долговременном пребывании УПДК = 3,45 $г/м^3$.

УП – содержание газа в приточном воздухе, $г/м^3$, УП=0,5 $г/м^3$

$$L = 5940 / (3,45 - 0,5) = 2013,6 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Воздухообмен по избыткам тепла и влаги.

Определяется по формуле:

$$L = \frac{D}{(d_{\text{в}} - d_{\text{н}}) \cdot \rho}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где D – влаговыделение в помещение,

$$D = n \cdot q_{\text{ч}}, \text{ г/ч};$$

$q_{\text{ч}}=168$ г/ч – влаговыделение одного человека;

$d_{\text{в}} = 6,2$ г/кг - влагосодержание удаляемого воздуха;

$d_{\text{н}} = 4,1$ г/кг – влагосодержание приточного воздуха.

Влагосодержания определены по параметрам внутреннего воздуха и приточного воздуха с помощью h - d диаграммы.

$$L = 120 \cdot 168 / ((6,2 - 4,1) \cdot 1,1) = 8727,3 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Расход вентиляционного воздуха определяем по максимальному воздухообмену – по нормативной кратности.

$$G_{\text{вент}} = 38664 \cdot 1,1 / 3600 = 11,814 \text{ кг/с}$$

Потери теплоты на нагревание вентиляционного воздуха

$$Q_3 = 11,814 \cdot 1 \cdot (18 + 39) = 519,816 \text{ кВт}$$

Нагрузка на систему отопления составит

$$Q = Q_1 + Q_3 = 415,505 + 519,816 = 935,321 \text{ кВт}$$

Результаты расчёта теплотерь Q_1 сведены в таблицу Приложения №1

Расчетная нагрузка на дежурное отопление приведена в таблице приложения №2.

Общая нагрузка на всю систему отопления приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Тепловая нагрузка на отопление

№ помеще-ния	Потери теплоты, кВт		Общая нагрузка, кВт	Нагрузка на дежурное отопление, кВт	Нагрузка на лучистое отопление, кВт	
	через ограждающие конструкции	на нагревание вентиляционного воздуха				
1	213,313	361,284	584,293	0	584,293	584,293
2	25,914	18,216	45,307	18,257	25,872	123,676
3	17,421	18,216	36,429	12,274	23,363	
4	17,421	18,216	36,429	12,274	23,363	
5	40,608	36,432	81,086	30,167	48,973	
6	1,216	0,00	1,216	0,00	1,216	
7	0,889	0,00	0,889	0,00	0,889	
8	16,362	9,108	26,214	11,528	13,942	136,447
9	6,931	9,108	17,82	5,872	11,569	
10	6,931	9,108	17,82	5,872	11,569	
11	13,781	18,216	35,641	11,743	23,139	
12	6,931	9,108	17,82	5,872	11,569	
13	7,082	9,108	17,978	0,00	17,978	
14	6,931	9,108	17,82	5,872	11,569	
15	23,956	18,216	43,261	16,878	25,294	
16	9,818	0,00	9,818	0,00	9,818	
Сумма	415,505	519,816	935,321	136,609	814 416	814 416

Проектируемая система отопления здания депо комбинированная и включает в себя дежурное отопление радиаторами отопления и лучистое панельное отопление. Дежурное отопление обеспечивает поддержание температуры внутри здания депо 5 °С в период отсутствия персонала. Лучистое панельное отопление совместно с дежурным отоплением обеспечивает поддержание температуры в размере 18 °С.

2.2 Водяная система отопления

2.2.1 Тепловой расчёт отопительных приборов водяной системы отопления

По требованию заказчика в качестве отопительных приборов водяной системы отопления приняты чугунные секционные радиаторы МС-140-500. Тепловой расчет отопительных приборов заключается в определении площади наружной нагревательной поверхности каждого устройства, обеспечивающей нужный тепловой поток от теплоносителя в помещение. Расчет проводится при температуре теплоносителя, устанавливаемой для условий выбора тепловой мощности устройств. Для теплоносителя пара это – температура насыщенного пара при данном его давлении в устройстве. Для теплоносителя вода это – максимальная средняя температура воды в устройстве, связанная с ее расходом.

Тепловая мощность устройства, т. е. его расчетная теплоотдача $Q_{пр}$, определяется, как известно, теплотребностью здания за минусом теплоотдачи теплопроводов, проложенных в данном помещении. Площадь теплоотдающей поверхности зависит от принятого вида устройства, его расположения в помещении и схемы присоединения к трубам. Данные причины отражаются на значении поверхностной плотности теплового потока устройства.

Если поверхностная плотность теплового потока прибора $q_{пр}$, Вт/м², известна, то теплоотдача отопительного прибора $Q_{пр}$, Вт, должна быть пропорциональна площади его нагревательной поверхности

$$Q_{пр} = q_{пр} \cdot A_p$$

Отсюда расчетная площадь A_p , м², отопительного прибора независимо от вида теплоносителя

$$A_p = Q_{пр} / q_{пр},$$

где $Q_{пр}$ – требуемая теплоотдача прибора в рассматриваемое помещение, определяемая в соответствии с формулой

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{п}} - \beta_{\text{тр}} \cdot Q_{\text{тр}};$$

$Q_{\text{п}}$ – теплопотребность помещения, Вт; $Q_{\text{тр}}$ – суммарная теплоотдача проложенных в пределах помещения нагретых труб стояка (ветви) и подводок, к которым непосредственно присоединен прибор, а также транзитного теплопровода, если он имеется в помещении; $\beta_{\text{тр}}$ составляет при прокладке труб: открытой – 0,9, скрытой в глухой борозде стены – 0,5, замоноличенной в тяжелый бетон – 1,8 (возрастание теплоотдачи объясняется увеличением площади теплоотдающей поверхности).

Суммарную теплоотдачу теплопроводов $Q_{\text{тр}}$, Вт, находят по формуле

$$Q_{\text{тр}} = \sum k_{\text{тр}} \cdot \pi \cdot d_{\text{н}} \cdot l \cdot (t_{\text{т}} - t_{\text{в}}),$$

где $k_{\text{тр}}$, $d_{\text{н}}$, l – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С), наружный диаметр, м, и длина, м, отдельных теплопроводов; $t_{\text{т}}$ и $t_{\text{в}}$ – температура теплоносителя и воздуха в помещении, °С.

Теплоотдачу теплопроводов можно определить приближенно, с использованием таблиц в справочной литературе по формуле

$$Q_{\text{тр}} = q_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} + q_{\text{г}} \cdot l_{\text{г}}$$

где $q_{\text{в}}$ и $q_{\text{г}}$ – теплоотдачи 1 м вертикально и горизонтально проложенных труб, Вт/м, исходя из их диаметра и разности температуры ($t_{\text{т}} - t_{\text{в}}$); $l_{\text{в}}$ и $l_{\text{г}}$ – длина вертикальных и горизонтальных теплопроводов в пределах помещения, м.

Длина чугунных секционных радиаторов зависит от числа секций, составляющих приборы.

Число секций чугунных радиаторов определяют по формуле

$$N = \frac{A_{\text{р}}}{a_1} \frac{\beta_4}{\beta_3},$$

где a_1 – площадь одной секции, м², типа радиатора, принятого к установке в помещении; β_4 – поправочный коэффициент, учитывающий способ установки

радиатора в помещении: при открытой установке $\beta_4=1,0$; при установке с декоративной решеткой следует обеспечивать $\beta_4<1,10$; β_3 – поправочный коэффициент, учитывающий число секций в одном радиаторе ($\beta_3=1,0$ при $A_p=2,0 \text{ м}^2$); для радиаторов типа МС-140-500 вычисляется по формуле

$$\beta_3 = 0,97 + \frac{0,06}{A_p}$$

Чугунные радиаторы проходят тепловые испытания при площади прибора около $2,0 \text{ м}^2$, т.е. в составе семи – восьми секций, поэтому полученное значение коэффициента теплопередачи справедливо только для радиаторов именно таких размеров. При меньшем числе секций коэффициент теплопередачи относительно повышается благодаря влиянию усиленного теплового потока крайних секций, торцы которых свободны для теплообмена излучением с помещением, поэтому размеры радиатора могут быть несколько сокращены. При большем числе секций влияние крайних секций на коэффициент теплопередачи уменьшается, и размеры радиатора должны быть несколько увеличены.

Для типов радиаторов с площадью одной секции $0,25 \text{ м}^2$ (в том числе для эталонного радиатора) коэффициент β_3 определяют по формуле

$$\beta_3 = 0,92 + \frac{0,16}{A_p}$$

Расчетное число секций по формуле редко получается целым. При выборе целого числа секций радиатора допускают уменьшение расчетной площади A_p не более чем на 5% (но не более чем на $0,1 \text{ м}^2$). Так поступают с целью ограничения отклонения от расчетной температуры в помещении (обычно приемлемо понижение на 1°С в гражданских и на 2°С в производственных зданиях). Поэтому, как правило, к установке принимают ближайшее большее число секций.

Тепловой расчёт трубопроводов системы отопления здания выполнялся по компьютерной программе, разработанной с помощью Microsoft Excel.

Результаты расчета сведем в таблицу Приложения №3.

2.2.2 Гидравлический расчёт водяной системы отопления

Расчёт трубопроводов систем водяного отопления сводится к определению экономичных сечений труб при заданных тепловых нагрузках и располагаемом перепаде давлений теплоносителя P_p (Па).

Величина P_p всегда должна превышать сумму потерь давления от трения и местных сопротивлений по наименее выгодному кольцу – самому протяжённому и нагруженному (магистральный трубопровод с ответвлением к рассматриваемому прибору).

$$P_p \geq \Sigma(Rl_i + Z_i)$$

где l_i – длина расчётного участка наиболее протяжённого циркуляционного кольца трубопровода, м

R – удельная потеря давления от трения, Па/м;

$$R = (l \cdot \lambda / d) \rho \cdot w^2 / 2;$$

λ – коэффициент гидравлического трения;

l и d – длина и внутренний диаметр участка;

Z_i – потеря давления в местных сопротивлениях расчётного участка, Па.

Потери давления в местных сопротивлениях Z определяются количеством единиц коэффициентов местных сопротивлений и скоростью движения теплоносителя по формуле:

$$Z = \Sigma \zeta_i \cdot \rho \cdot w^2 / 2$$

где $\Sigma \zeta_i$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчётном участке;

w – скорость движения теплоносителя, м/с;

ρ - плотность теплоносителя, кг/м^3 .

Гидравлический расчёт теплопроводов можно проводить любым из известных методов (удельных потерь по длине, характеристик, динамических давлений и др.), при этом должна быть использована вся разность давлений, имеющихся для этой цепи.

По окончании гидравлического расчёта выбирается расширительный бак. Диаметры теплопроводов проставляются на аксонометрической схеме.

Общие принципы и последовательность подготовительных операций гидравлического расчёта трубопроводов заключается в следующем:

После размещения на планах задания (масштаб 1:100) нагревательных приборов, стояков, разводящих, подающих и обратных магистралей конструируют расчётную пространственную схему всей системы отопления. Конструкции стояков и присоединённые к ним нагревательные приборы должны быть единообразны и отвечать требованиям индустриализации монтажных работ. Необходимо указать все изгибы труб, арматуру и вспомогательное оборудование (расширительный бак, воздухозаборники и т.п.). На расчётной схеме отопления следует привести коммуникации основных трубопроводов, котлов и насосов.

На основании расчёта теплотерь, подбора и размещения нагревательных приборов на схеме наносят тепловые нагрузки на приборы, суммируемые по стоякам и отдельным кольцам сети трубопроводов. Расчётное кольцо разбивают на расчётные участки по ходу движения теплоносителя – отрезки трубопровода одного диаметра с неизменными тепловыми нагрузками или расходом теплоносителя. Каждый расчётный участок обозначают порядковым номером, указывают длину (м), тепловую нагрузку Q (Вт) или расход воды G (кг/ч).

Зная параметры теплоносителя и располагаемый перепад давлений в системе отопления P_p , пользуясь монограммой, по принятой методике находят потери давления на всех расчётных участках: на трение по длине трубопровода

R_l и в местных сопротивлениях Z . Затем найденные потери давления суммируют по циркуляционным кольцам и ветвям расчётной схемы трубопроводов.

Невязки по отдельным кольцам не должны превышать допустимых значений. При расчёте наиболее нагруженного и протяжённого кольца допускается оставлять запас P_p на неучтённые расчётом сопротивления сети, но не более 10%.

Гидравлический расчёт трубопроводов системы отопления здания выполнялся по компьютерной программе, разработанной с помощью Microsoft Excel.

Результаты расчета сведем в таблицу Приложения №4.

2.3 Комбинированная система лучистого отопления и вентиляции

Комбинированными системами отопления и вентиляции считаются такие, которые функционально неразрывно связаны друг с другом. В комбинированных системах лучистого отопления и вентиляции часть тепловой мощности системы лучистого отопления используется для подогрева приточного воздуха. Такие комбинированные системы объединяют в себе все достоинства систем лучистого отопления (более равномерное распределение температуры по объёму помещения, малая подвижность воздуха, отсутствие неприятного «дутья», сокращение переноса пыли и вредных выделений). Дополнительным достоинством является возможность снижения тепловой мощности установок, предварительного нагрева приточного воздуха и капитальных вложений в них, так как на нагрев приточного воздуха используется часть тепловой мощности систем лучистого отопления.

В системах лучистого отопления вообще и в комбинированных системах, в частности, температура поверхности потолка не должна превышать допустимого значения, из условия обеспечения комфортных условий -

положительного радиационного баланса элементарной площадки на поверхности головы человека.

В комбинированных системах лучистого отопления и вентиляции используют подвесные излучающие панели с теплоносителем водой, а подача приточного воздуха осуществляется по условиям ассимиляции выделяющихся вредностей либо в рабочую зону помещения, либо выше уровня установки подвесных излучающих панелей. При определённых условиях в верхнюю зону помещения можно подавать неподогретый наружный воздух. Максимальный объём неподогретого приточного воздуха составляет, как правило, 1-3 объёма помещения в один час в зависимости от расчётной наружной температуры и теплоотдачи излучающих панелей.

Излучающая панель представляет собой элемент, в котором имеются нагревательные каналы для теплоносителя змеевиковой или колончатой формы, рисунок 3.

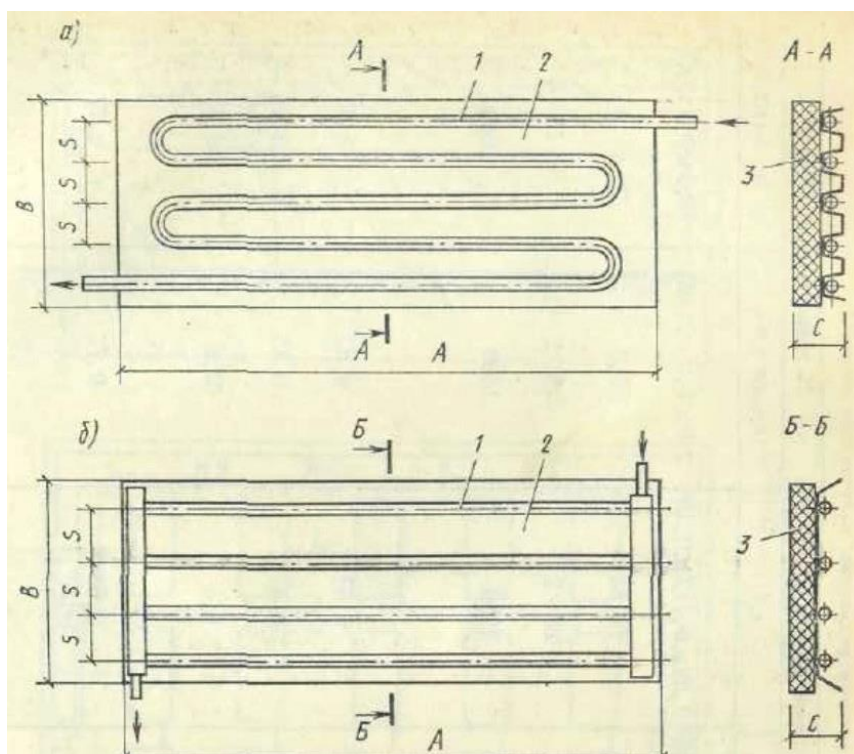


Рисунок 3 – Схемы нагревательных элементов излучающей панели змеевиковой (а) и колончатой (б) формы.

1 – греющая труба; 2 – экран; 3- тепловая изоляция.

2.3.1 Расчет комбинированной системы лучистого отопления и вентиляции

1. Стойловое отделение и отделение периодического ремонта.

Исходные данные для расчёта:

Тепловая мощность системы – $Q_{\text{л}} = 584293$ Вт (из табл. 1)

Размеры помещения цеха $24 \times 84 \times 8,5$ м, объёмом 17136 м³.

Теплоноситель – перегретая вода $130/70^{\circ}\text{C}$.

Габариты панели $1 \times 2 \times 0,125$ м.

Расчёт производится из условия установки в помещении максимального числа горизонтальных панелей

$$f_n n_{r(\max)} = \frac{\tau'_{nm} F_{nm} - \tau_{nm} F_{nm}}{\tau_n - \tau_{nm}}$$

где $f_{\text{п}}$ – площадь одной панели, м²;

$F_{\text{пт}} = 84 \cdot 24 = 2016$ м² - площадь цеха;

$\tau_{\text{пт}}$ – температура поверхности потолка; при расчёте комбинированных систем принимается $\tau_{\text{пт}} = 5^{\circ}\text{C}$;

$\tau'_{\text{пт}}$ – средневзвешенная по площадям температура поверхности подвесных излучающих панелей и потолка, $^{\circ}\text{C}$. Максимальное значение $\tau'_{\text{пт}}$ определяется по рисунку 5 в зависимости от коэффициента облучённости человека с потолка $\phi_{\text{ч-пт}}$, определяемому по рисунку 4;

$\tau_{\text{п}}$ - температура поверхности горизонтальных панелей, $^{\circ}\text{C}$.

Температура поверхности горизонтальных панелей определяется из соотношения

$$\tau_n = t_{\text{с}} + \theta \left(\frac{t_{\text{з}} + t_{\text{о}}}{2} - t_{\text{с}} \right)$$

где t_r и t_o - температура прямой и обратной греющей воды в системе лучистого отопления, °C;

$\Theta = 0,77$ - средняя относительная избыточная температура, принимается по справочным данным для принятого типа панели

$$\tau_{п} = 18 + 0,77(0,5(130+70) - 18) = 81,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

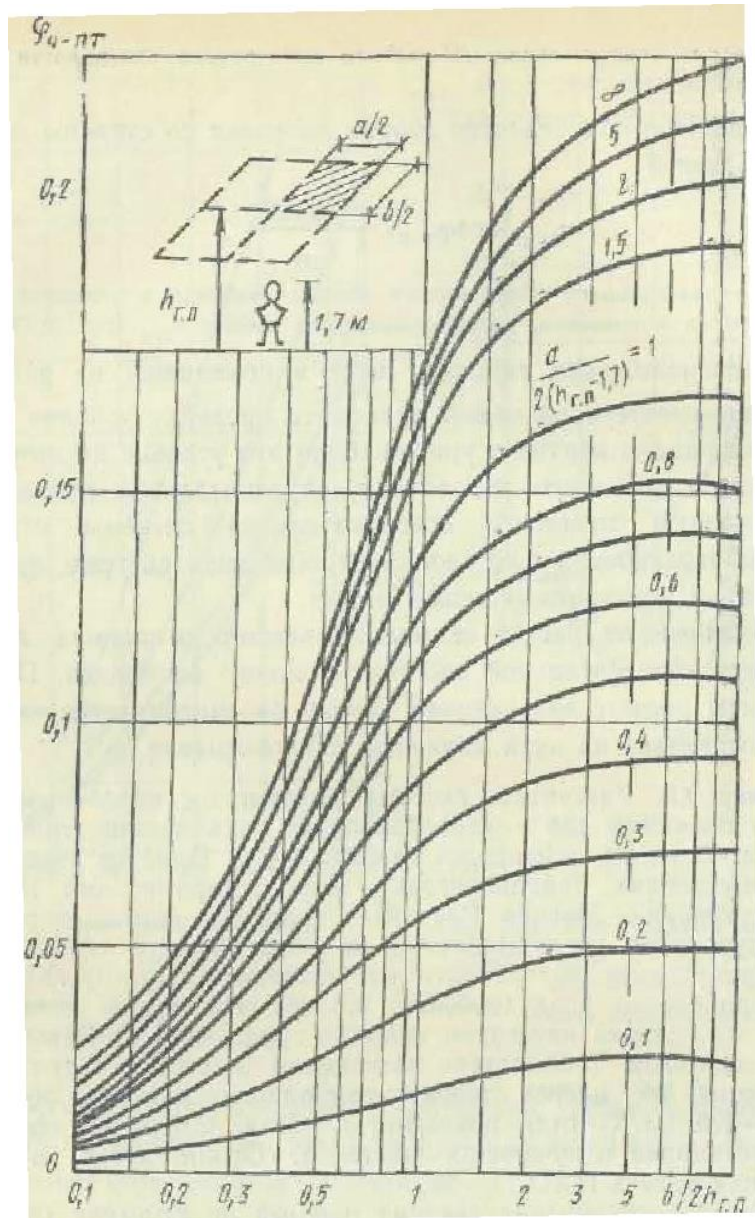
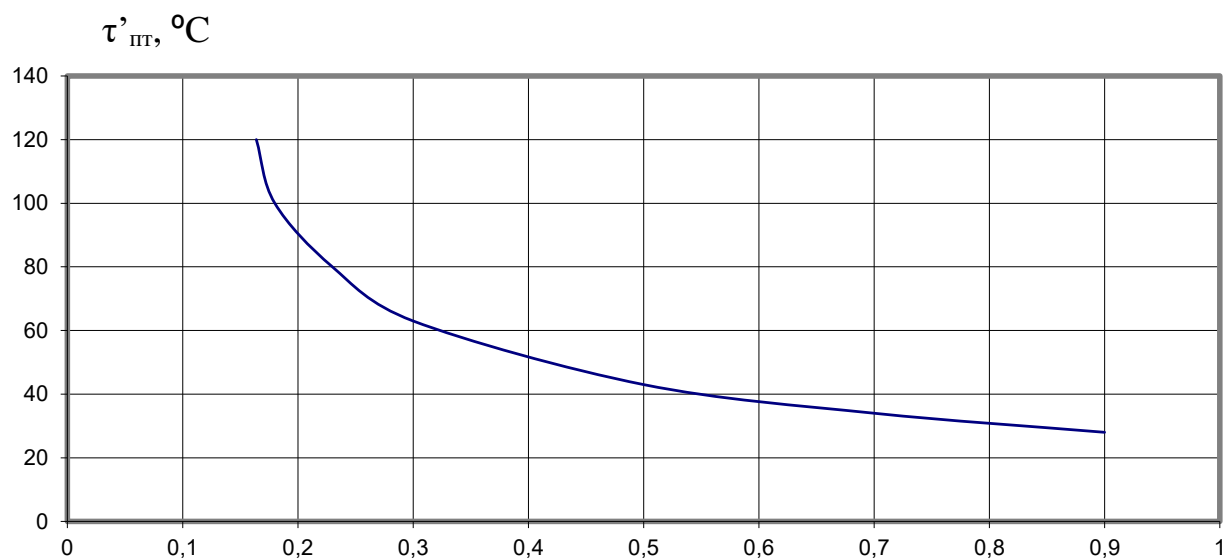


Рисунок 4 – Коэффициент облучённости головы человека с поверхности покрытия помещения



$\phi_{ч-пт}$

Рисунок 5 – Допустимая температура поверхности потолка $\tau'_{пт}$ в зависимости от коэффициента облучённости $\phi_{ч-пт}$

Коэффициент облучённости головы человека с условной поверхности покрытия помещения, расположенной на высоте $h_{гп} = 8,5$ м составляет по рис.4 $\phi_{ч-пт} = 0,19$ при

$$\frac{b}{2h_{гп}} = \frac{84}{2 \cdot 8,5} = 4,94 ;$$

$$\frac{a}{2 \cdot (h_{гп} - 1,7)} = \frac{24}{2 \cdot (8,5 - 1,7)} = 1,76.$$

По рис. 5 $\tau'_{\text{пт}} = 87^\circ\text{C}$;

$$f_{\text{п}} n_{\text{гmax}} = (87 \cdot 2016 - 5 \cdot 2016) / (81,14 - 5) = 2171,16 \text{ м}^2$$

$$n_{\text{гmax}} = 2171,16 / 2 = 1086 \text{ панелей.}$$

Устанавливаемое количество горизонтальных панелей

$$n = (Q_{\text{л}} - 1,4 \cdot n_{\text{нак}} \cdot Q_{\text{пан}}) / Q_{\text{пан}}$$

где $n_{\text{нак}}$ – число устанавливаемых в помещении наклонных излучающих панелей, $n_{\text{нак}} = 10$ (по 5 на каждой фронтальной стене);

$Q_{\text{пан}}$ - теплоотдача одной панели. Для температурного графика 130/70°C и панели длиной 2 м с гофрированным экраном

$$Q_{\text{пан}} = 838 \text{ Вт.}$$

$$n = (584293 - 1,4 \cdot 10 \cdot 838) / 838 = 684 \text{ панелей}$$

$$n < n_{\text{гmax}}$$

Располагаем панели в 19 рядов по 36 панелей в ряду (зазор между панелями составляет 0,3 и 0,2 м соответственно).

Определим возможность осуществления комбинированной схемы с подачей неподогретого наружного воздуха.

Максимальный объем неподогретого приточного воздуха

$$L_{np(\text{max})} = \frac{\frac{Q_{\text{л}}}{c} - Q_{\text{нт}}}{c_p \cdot \rho \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}$$

где $Q_{\text{нт1}} = 110497 \text{ Вт}$ - тепловые потери через потолок цеха;

$c = 0,868$ - коэффициент снижения теплотерь в помещениях, обогреваемых комбинированными системами лучистого отопления и вентиляции, определяется по справочным данным в зависимости от отношения ширины

помещения к высоте ($B/H=24/8,5=2,8$) и от кратности вентиляционного теплообмена (принимая кратность воздухообмена $K_p = 1$;
 $c_p = 1,2$ кДж/(кг·К) - изобарная теплоёмкость воздуха.

$$L_{np(max)} = \frac{\frac{584293}{0,868} - 110497}{1005 \cdot 1,2 \cdot (18 + 39)} = 10,14 \text{ м}^3 / \text{с} = 36504 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Определим расчётную кратность теплообмена

$$K_{p1} = L_{np(max)} / V = 36504 / 17136 = 2,13 > 1,2$$

где V – объём помещения цеха.

По условиям расчёта при $L_{np(мфч)} / V > 1,2$ следует определить коэффициент c при соответствующей кратности K_{p1} и повторить расчёт.

Принимаем $K_p = 2,13$, тогда $c = 0,805$

$$L_{np(max)} = \frac{\frac{584293}{0,805} - 110497}{1005 \cdot 1,2 \cdot (18 + 39)} = 11,1 \text{ м}^3 / \text{с} = 39960 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Так как $L_{np(мфч)} > G_{вент}$, ($39960 > 1,79 \cdot 17136 = 30673,4$) то принимаем схему с подачей неподогретого наружного воздуха.

2. Помещения 2-7.

Исходные данные для расчёта:

Тепловая мощность системы – $Q_{2-7} = 123676$ Вт (из табл. 1)

Размеры помещений 2-7: 12х60х6 м, объёмом 4320 м³.

Теплоноситель – перегретая вода 130/70°С.

Габариты панели 1х2х0,125 м.

$F_{пт} = 60 \cdot 12 = 720$ м² - площадь помещений;

$$\tau_{п} = 18 + 0,77(0,5(130+70) - 18) = 81,14 \text{ °С}$$

Коэффициент облучённости головы человека с условной поверхности покрытия помещения, расположенной на высоте $h_{гп} = 6$ м составляет по рис.4 $\phi_{ч-гп} = 0,194$ при

$$\frac{b}{2h_{гп}} = \frac{60}{2 \cdot 6} = 5;$$

$$\frac{a}{2 \cdot (h_{гп} - 1,7)} = \frac{12}{2 \cdot (6 - 1,7)} = 1,4.$$

По рис. 5 $\tau'_{гп} = 93^\circ\text{C}$;

$$f_{п} n_{г\max} = (93 \cdot 720 - 5 \cdot 720) / (81,14 - 5) = 832,15 \text{ м}^2$$

$$n_{г\max} = 832,15 / 2 = 417 \text{ панелей.}$$

Принимаем следующее расположение наклонных панелей. По периметру помещения располагаем панели с зазором между ними 1,1 м. На боковых стенах размещается

$$n_{бок} = 2 \cdot 12 / (2 + 1,1) = 7,74 \approx 8 \text{ панелей.}$$

По фронтальной (северной) стене размещается

$$n_{фр} = 60 / (2 + 1,1) = 19,35 \approx 19 \text{ панелей.}$$

Таким образом, по периметру помещения располагается 27 панелей, установленные под углом 45° .

Устанавливаемое число горизонтальных панелей

$$n = (123676 - 1,4 \cdot 27 \cdot 838) / 838 = 110 \text{ панелей}$$

$$n < n_{г\max}$$

Располагаем панели в 6 рядов по 16 панелей в ряду.

Определим возможность осуществления комбинированной схемы с подачей неподогретого наружного воздуха.

$$Q_{гп2-7} = 38618 \text{ Вт.}$$

Максимальный объём неподогретого приточного воздуха

$$L_{np(max)} = \frac{\frac{123676}{0,892} - 38618}{1005 \cdot 1,2 \cdot (18 + 39)} = 1,45 \text{ м}^3 / \text{с} = 5239 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Определим расчётную кратность теплообмена

$$K_{p1} = L_{np(max)} / V = 5239 / 4320 = 1,21 > 1,2$$

Принимаем $K_p = 1,5$ (минимально допустимую по условиям воздухообмена),

$$L_{np(max)} = \frac{\frac{123676}{0,859} - 38618}{1005 \cdot 1,2 \cdot (18 + 39)} = 1,53 \text{ м}^3 / \text{с} = 5518 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Так как $L_{np(мфч)} > G_{вент}$ ($5518 > 4320 \cdot 1,2 = 5184$), то принимаем схему с подачей неподогретого наружного воздуха.

3. Помещения 8-16.

Исходные данные для расчёта:

Тепловая мощность системы – $Q_{8-16} = 136447$ Вт (из табл. 1).

Размеры помещений 8-16: 12х60х6 м, объёмом 4320 м³.

Теплоноситель – перегретая вода 130/70°С.

Габариты панели 1х2х0,125 м.

$F_{пт} = 60 \cdot 12 = 720$ м² - площадь помещений;

$$\tau_{п} = 18 + 0,77(0,5(130+70) - 18) = 81,14 \text{ °С}$$

Коэффициент облучённости головы человека с условной поверхности покрытия помещения, расположенной на высоте $h_{гп} = 6$ м составляет по рис.4 $\phi_{ч-пт} = 0,194$ при

$$\frac{b}{2h_{гп}} = \frac{60}{2 \cdot 6} = 5;$$

$$\frac{a}{2 \cdot (h_{\text{гп}} - 1,7)} = \frac{12}{2 \cdot (6 - 1,7)} = 1,4.$$

По рис. 5 $\tau'_{\text{пт}} = 93^\circ\text{C}$;

$$f_{\text{п}} n_{\text{гmax}} = (93 \cdot 720 - 5 \cdot 720) / (81,14 - 5) = 832,15 \text{ м}^2$$

$$n_{\text{гmax}} = 832,15 / 2 = 417 \text{ панелей.}$$

Принимаем следующее расположение наклонных панелей. По периметру помещения располагаем панели с зазором между ними 1 м (для боковых панелей) и 1,3 м (для панелей, располагаемых на фронтальной стене). На боковых стенах размещается

$$n_{\text{бок}} = 2 \cdot 12 / (2 + 1) = 8 \text{ панелей.}$$

По фронтальной (южной) стене размещается

$$n_{\text{фр}} = 60 / (2 + 1,3) = 18,18 \approx 18 \text{ панелей.}$$

Таким образом, по периметру помещения располагается 26 панелей, установленные под углом 45° .

Устанавливаемое число горизонтальных панелей

$$n = (136447 - 1,4 \cdot 26 \cdot 838) / 838 = 126 \text{ панелей}$$

$$n < n_{\text{гmax}}$$

Располагаем панели в 6 рядов по 16 панелей в ряду.

Определим возможность осуществления комбинированной схемы с подачей неподогретого наружного воздуха.

$$Q_{\text{пт8-16}} = 38148 \text{ Вт.}$$

Максимальный объём неподогретого приточного воздуха

$$L_{\text{np(max)}} = \frac{\frac{136447}{0,892} - 38148}{1005 \cdot 1,2 \cdot (18 + 39)} = 1,67 \text{ м}^3 / \text{с} = 6013 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Определим расчётную кратность теплообмена

$$K_{p1} = L_{\text{пр(мак)}} / V = 6013 / 4320 = 1,42 > 1,2$$

Принимаем $K_p = 1,5$ (минимально допустимую по условиям воздухообмена), тогда $c = 0,859$

$$L_{\text{пр(мак)}} = \frac{\frac{136447}{0,859} - 38618}{1005 \cdot 1,2 \cdot (18 + 39)} = 1,74 \text{ м}^3 / \text{с} = 6296 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Так как $L_{\text{пр(мфч)}} > G_{\text{вент}}$ ($6296 > 4320 \cdot 1,2 = 5184$), то принимаем схему с подачей неподогретого наружного воздуха.

2.4 Выбор и расчёт тепловой завесы

Данные для расчета:

Ворота с высотой $H_{\text{пр}} = 5,6$ м

с шириной $B_{\text{пр}} = 5,8$ м

Ворота с высотой $H_{\text{пр}} = 3,0$ м

с шириной $B_{\text{пр}} = 5,8$ м

Ворота с высотой $H_{\text{пр}} = 3,0$ м

с шириной $B_{\text{пр}} = 5,0$ м

Допустимые значения:

скорости $\mathcal{V} \leq 2,5 \text{ м/с}$

температуры $t_0 \leq 70^\circ\text{C}$

Наружные условия:

температура $t_{\text{н}} = -39^\circ\text{C}$

скорость ветра $2,2 \text{ м/с}$ (по параметрам А)

Внутренние условия:

температура $t_{\text{в}} = 18^\circ\text{C}$

давление (избыточное) $p_0 = 30 \text{ Па}$.

1. Расчёт завес для ворот с высотой $H_{пр} = 5,6$ м и с шириной $B_{пр} = 5,8$ м, высота помещения $H = 8,5$ м.

1. Скорость потока, поперечного струе завесы, м/с

$$g = A \cdot m \cdot \sqrt{\Delta P} = 0,755 \cdot g_v \cdot \sqrt{K_1}$$

где A – эмпирический коэффициент;

m – коэффициент расхода проема при работе завесы;

ΔP – разность давлений воздуха с двух сторон проема, оборудованного завесой.

$K_1=0,2$ поправочный коэффициент на ветровое давление учитывающий степень герметичности зданий (равен 0,2 для зданий без аэрационных проемов; 0,5 для зданий с аэрационными проемами, закрытыми в холодный период года; 0,8 для зданий с аэрационными проемами, открытыми в холодный период года) ;

$g_v=2,2$ м/с – скорость ветра для Томска

$$g = 0,755 \cdot 4,7 \cdot \sqrt{0,2} = 1,59, \text{ м/с}$$

Полученное значение $g < 2,5$ м/с, что соответствует требованиям СНиП.

2. Тепловой баланс в струе завесы с забором воздуха из помещения

$$G_{см} \cdot t_{см} = G_3 \cdot (t_v + \Delta t_3) + 0,5 \cdot (G_{см} - G_3) \cdot (t_{пр} - t_v).$$

где $G_{см}$ – расход воздуха в струе (у пола);

$t_{см}$ – температура воздуха у пола;

G_3 – расход воздуха на выходе из щели завесы;

Δt_3 – нагрев воздуха в завесе;

откуда

$$\frac{G_3}{G_{см}} = q = \frac{t_{см} - 0,5 \cdot (t_{пр} + t_v)}{t_v + \Delta t_3 - 0,5 \cdot (t_{пр} + t_v)}$$

примем $\Delta t_3 = 400^\circ\text{C}$.

У ворот нет рабочих зон, поэтому главное для завесы – не пропускать холодный воздух. Примем $t_{см} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$q_c = \frac{5 - 0,5 \cdot (-39 + 18)}{18 + 40 - 0,5 \cdot (-39 + 18)} = 0,159$$

3. Геометрия струи.

Относительное расстояние от щели завесы до конца струи

$$S = \left(\frac{1}{0,375 \cdot q_c} \right)^2 = \frac{1}{(0,375 \cdot 0,159)^2} = 282,24$$

По определению $S = 2000 \cdot L / b$.

L – длина осевой линии струи с учетом искривления, при которой достигается требуемое значение q , м;

Отсюда ширина щели завесы (мм)

$$b = 281 \cdot q_c^2 \cdot L$$

4. Скорость в щели (на выходе)

$$U_0 = \frac{g_{cp}}{0,64 \cdot q_c} = \frac{1,25}{0,64 \cdot 0,159} = 12,3 \text{ м/с.}$$

$g_{cp} = 1,25 \text{ м/с}$ – скорость воздуха у пола.

Скорость в щели соответствует требованиям СНиП.

Относительная скорость поперечного потока

$$g_{\circ} = \frac{g}{U_{\circ}} = \frac{1,59}{12,3} = 0,1294$$

5. Длина струи завесы определяется на основании приближенного уравнения, полученного в результате обработки численных расчетов на модели струи завесы.

$$L = \frac{0,7 \cdot H \cdot e^{2,6 \cdot g_s}}{\cos \alpha} = \frac{0,7 \cdot 5,6 \cdot 2,72^{2,60,1294}}{1} = 5,49 \cong 5,5 \text{ м.}$$

где α - угол между направлением выхода воздуха из щели завесы и плоскостью защищаемого проема ($\alpha = 1-3^\circ$);

6. Ширина щели

$$b = 281 \cdot q_c^2 \cdot L = 281 \cdot 0,159^2 \cdot 5,49 = 39 \text{ мм.}$$

7. Расход воздуха на один проем

$$G_3 = 3,6 \cdot b \cdot B \cdot U_0 = 3,6 \cdot 39 \cdot 5,8 \cdot 12,3 = 10016 \text{ м}^3/\text{ч}$$

8. Мощность на нагрев воды

$$Q_3 = \frac{G_3}{3600} \cdot C_{pv} \cdot \Delta t_3 = \frac{10016}{3600} \cdot 1,2 \cdot 40 = 133,5, \text{ кВт,}$$

где C_{pv} – удельная массовая теплоёмкость воздуха при постоянном давлении

Можно выбрать завесы КЭВ-200П512W с водяным источником тепла в горизонтальном исполнении, соединённые параллельно по воде.

При работе на 3-м режиме по расходу воздуха при температурном режиме для воды 120/100 0С:

Расход воздуха $6000 \text{ м}^3/\text{ч} \times 2 \text{ шт} = 12000 \text{ м}^3/\text{ч}$,

Тепловая мощность $138,7 \times 2 = 272,4 \text{ кВт}$.

Скорость в щели при этом режиме $U_0 = 13 \text{ м/с}$.

Потеря давления по воде в 1 завесе по графику для завесы, при расходе воды $0,78 \text{ м/с}$: $\Delta P = 2,4 \text{ кПа}$.

2. Расчёт завес для ворот с высотой $H_{пр} = 3,0 \text{ м}$, шириной $B_{пр} = 5,8 \text{ м}$, высоты помещения $H = 6,0 \text{ м}$.

1. Скорость потока, поперечного струе завесы, м/с

$$g = 0,755 \cdot 4,7 \cdot \sqrt{0,2} = 1,59, \text{ м/с}$$

2. Тепловой баланс в струе завесы с забором воздуха из помещения

$$q_c = \frac{5 - 0,5 \cdot (-39 + 18)}{18 + 40 - 0,5 \cdot (-39 + 18)} = 0,159$$

3. Геометрия струи.

$$S = \left(\frac{1}{0,375 \cdot q_c} \right)^2 = \frac{1}{(0,375 \cdot 0,159)^2} = 282,24$$

4. Скорость в щели (на выходе)

$$U_0 = \frac{g_{cp}}{0,64 \cdot q_c} = \frac{1,25}{0,64 \cdot 0,159} = 12,3 \text{ м/с.}$$

Относительная скорость поперечного потока

$$g_{\circ} = \frac{g}{U_{\circ}} = \frac{1,59}{12,3} = 0,1294$$

5. Длина струи завесы

$$L = \frac{0,7 \cdot H \cdot e^{2,6 \cdot g_{\circ}}}{\cos \alpha} = \frac{0,7 \cdot 3 \cdot 2,72^{2,6 \cdot 0,1294}}{1} = 2,94 \cong 3, \text{ м.}$$

6. Ширина щели

$$b = 281 \cdot q_c^2 \cdot L = 281 \cdot 0,159^2 \cdot 2,94 = 21 \text{ мм.}$$

7. Расход воздуха на один проем

$$G_3 = 3,6 \cdot b \cdot B \cdot U_0 = 3,6 \cdot 21 \cdot 5,8 \cdot 12,3 = 5393,3 \text{ м}^3/\text{ч}$$

8. Мощность на нагрев воды

$$Q_3 = \frac{G_3}{3600} \cdot C_{pv} \cdot \Delta t_3 = \frac{5393,3}{3600} \cdot 1,2 \cdot 40 = 71,9 \text{ кВт.}$$

Можно выбрать 2 завесы КЭВ-98П412W с водяным источником тепла в горизонтальном исполнении, соединённых параллельно по воде.

При работе на 3-м режиме по расходу воздуха при температурном режиме для воды 120/100 °C:

Расход воздуха $4000 \text{ м}^3/\text{ч} \times 2 \text{ шт} = 8000 \text{ м}^3/\text{ч}$,

Тепловая мощность $65,7 \times 2 = 131,4 \text{ кВт}$.

Скорость в щели при этом режиме $U_0 = 13 \text{ м/с}$.

Потеря давления по воде в 1 завесе по графику для завесы, при расходе воды 0,78 м/с: $\Delta P = 5,4 \text{ кПа}$.

3. Расчёт завес для ворот с высотой $H_{\text{пр}} = 3,0 \text{ м}$, шириной $B_{\text{пр}} = 5,0 \text{ м}$, высота помещения $H = 6,0 \text{ м}$.

1. Скорость потока, поперечного струе завесы, м/с

$$g = 0,755 \cdot 4,7 \cdot \sqrt{0,2} = 1,59, \text{ м/с}$$

2. Тепловой баланс в струе завесы с забором воздуха из помещения

$$q_c = \frac{5 - 0,5 \cdot (-39 + 18)}{18 + 40 - 0,5 \cdot (-39 + 18)} = 0,159$$

3. Геометрия струи.

$$S = \left(\frac{1}{0,375 \cdot q_c} \right)^2 = \frac{1}{(0,375 \cdot 0,159)^2} = 282,24$$

4. Скорость в щели (на выходе)

$$U_0 = \frac{g_{cp}}{0,64 \cdot q_c} = \frac{1,25}{0,64 \cdot 0,159} = 12,3, \text{ (м/с)}.$$

Относительная скорость поперечного потока

$$g_{\circ} = \frac{g}{U_{\circ}} = \frac{1,59}{12,3} = 0,1294$$

5. Длина струи завесы

$$L = \frac{0,7 \cdot H \cdot e^{2,6 \cdot g_e}}{\cos \alpha} = \frac{0,7 \cdot 3 \cdot 2,72^{2,60,1294}}{1} = 2,94 \cong 3, \text{ м.}$$

6.Ширина щели

$$b = 281 \cdot q_c^2 \cdot L = 281 \cdot 0,159^2 \cdot 2,94 = 21 \text{ мм.}$$

7. Расход воздуха на один проем

$$G_3 = 3,6 \cdot b \cdot B \cdot U_0 = 3,6 \cdot 21 \cdot 5 \cdot 12,3 = 4649,4 \text{ м}^3/\text{ч}$$

8.Мощность на нагрев воды

$$Q_3 = \frac{G_3}{3600} \cdot C_{pv} \cdot \Delta t_3 = \frac{4649,4}{3600} \cdot 1,2 \cdot 40 = 62 \text{ кВт.}$$

Выбираем 1 завесу КЭВ-98П412W с водяным источником тепла в горизонтальном исполнении.

При работе на 3-м режиме по расходу воздуха при температурном режиме для воды 120/100 0С:

Расход воздуха 5000 м³/ч,

Тепловая мощность 65,7 кВт.

Скорость в щели при этом режиме $U_0 = 13 \text{ м/с.}$

Потеря давления по воде в 1 завесе по графику для завесы, при расходе воды 0,78 м/с: $\Delta P = 5,4 \text{ кПа.}$

2.5 Источник теплоснабжения

В качестве источника теплоснабжения на территории депо установлена водогрейная автоматизированная котельная на базе двух жаротрубных котлов. Температурный график работы котельной 130-70 °С. Схема теплоснабжения закрытая, независимая. Котельная на нужды ГВС не работает (ГВС готовится в ИТП).

2.6 Тепловой расчет тепловой сети

Надземная прокладка тепломагистралей целесообразна при неблагоприятных гидрогеологических условиях, а также на участках трассы, расположенных на незастраиваемой территории, вдоль автомобильных дорог и на пересечении небольших водных преград и оврагов.

Уравнение определения потерь тепла ΔQ (Вт) при надземной прокладке имеет общий вид:

$$\Delta Q = \frac{\tau - t_0}{\Sigma R} \cdot L \cdot \beta,$$

где β – коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла изолированными опорами, арматурой, фасонными частями, компенсаторами. При надземной прокладке для трубопроводов с условным проходом до 150 мм коэффициент β следует принимать равным 1,2,

τ – температура теплоносителя, °С,

t_0 – температура окружающей среды, °С,

L – протяженность тепловой сети, м,

ΣR – суммарное термическое сопротивление, (м*°С)/Вт.

Суммарное термическое сопротивление ΣR определяем по формуле:

$$\Sigma R = R_{вн} + R_{тр} + R_{из} + R_{п.с.},$$

где $R_{вн}$ и $R_{тр}$ – термическое сопротивление внутренней поверхности трубы и стенки трубы соответственно. Данными величинами можно пренебречь вследствие малости значений этих величин;

$R_{из}$ – термическое сопротивление слоя изоляции, (м*°С)/Вт,

$R_{п.с.}$ – термическое сопротивление поверхности изоляционного покрытия, (м*°С)/Вт,

Термическое сопротивление слоя изоляции $R_{из}$ определяем по уравнению Фурье:

$$R_{из} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из}} \cdot \ln \frac{d_n}{d_b},$$

где $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности слоя изоляции и покровного слоя, Вт/м*°С,

d_n – наружный диаметр (диаметр тепловой изоляции), м,

d_b – внутренний диаметр (наружный диаметр трубопровода), м.

Термическое сопротивление на поверхности покровного слоя изоляции $R_{п.с.}$ определяем по формуле:

$$R_{п.с.} = \frac{1}{\pi \cdot (d_b + 0,1) \cdot \alpha},$$

где d_b – наружный диаметр трубопровода, м,

α – коэффициент теплоотдачи на поверхности теплоизоляционной конструкции, Вт/м²*°С.

Коэффициент теплоотдачи на поверхности изоляционного покрытия вычислим приближенно по формуле (для теплопроводов на открытом воздухе):

$$\alpha = 11,6 + 7 \cdot \sqrt{w},$$

где w – скорость движения воздуха, м/с.

Находим коэффициент теплоотдачи на поверхности изоляционного покрытия:

$$\alpha = 11,6 + 7 \cdot \sqrt{2,2} = 25,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}.$$

Значит уравнение определения потерь тепла при надземной прокладке примет следующий вид:

$$\Delta Q = \frac{\tau - t_0}{R_{из} + R_{п.с.}} \cdot L \cdot \beta;$$

$$\Delta Q = \frac{\tau - t_0}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из}} \cdot \ln \frac{d_n}{d_b} + \frac{1}{\pi \cdot (d_b + 0,1) \cdot \alpha}} \cdot L \cdot \beta$$

Оптимальный диаметр $d_{опт}$ тепловой изоляции определим исходя из нормы плотности теплового потока чрез изолированную поверхность двухтрубных тепловых сетей q_e , Вт/м.

Тепловой потока через изолированную поверхность:

$$q = \frac{\tau - t_0}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из}} \cdot \ln \frac{d_H}{d_e} + \frac{1}{\pi \cdot (d_B + 0,1) \cdot \alpha}} \cdot \beta,$$

отсюда

$$\frac{d_H}{d_e} = e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из} \cdot \left(\frac{\tau - t_0}{q_e} \cdot \beta - \frac{1}{\pi \cdot (d_e + 0,1) \cdot \alpha} \right)};$$

$$d_H = d_B \cdot e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из} \cdot \left(\frac{\tau - t_0}{q} \cdot \beta - \frac{1}{\pi \cdot (d_e + 0,1) \cdot \alpha} \right)}$$

Подставляя в данное уравнение нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность двухтрубных тепловых сетей q_e в данное уравнение, получим искомый оптимальный диаметр теплоизоляционного покрова $d_{опт}$;

$$d_{опт} = d_B \cdot e^{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{из} \cdot \left(\frac{\tau - t_0}{q_e} \cdot \beta - \frac{1}{\pi \cdot (d_e + 0,1) \cdot \alpha} \right)}$$

Диаметр теплосети составляет 108х3,5 мм, тепловая сеть теплоизолирована минеральной ватой $\lambda=0,035$ Вт/(м²·С), средняя температура теплосети $\tau=100$ °С при температурном графике 130-70 °С, температура наружного воздуха равна $t_0=-28$ °С, норма плотности теплового потока равна 69,3 Вт/м.

$$d_{опт} = 0,101 \cdot e^{2 \cdot \pi \cdot 0,035 \cdot \left(\frac{100+28}{69,3} \cdot 1,2 - \frac{1}{3,14 \cdot (0,101+0,1) \cdot 25,2} \right)} = 0,162 м = 162 мм$$

Значит толщина тепловой изоляции (минеральной ваты) 31 мм.

2.7 Индивидуальный тепловой пункт

На тепловом пункте принимаем к установке пластинчатые водоподогреватели.

Преимущество пластинчатых теплообменных аппаратов перед кожухотрубчатыми:

- использование производственных площадей в 2-3 раза меньше требуемой для установки трубчатого теплообменника равной производительности;
- высокий коэффициент теплопередачи при относительно небольшой разности давлений, что позволяет избежать дополнительных расходов на приобретение мощных насосов, минимальный перепад температур между теплоносителями может достигать 1-20 °С;
- поверхность аппарата изменяется добавлением или снятием соответствующего количества теплопередающих пластин;
- не требует теплоизоляции, тепловые потери практически отсутствуют, пониженная склонность к загрязнению теплопередающей поверхности;
- малый внутренний объем заполнения теплоносителями;
- надежность в эксплуатации.

В соответствии СП 41-02-2003 присоединение систем потребления теплоты выполняем с учетом гидравлического режима работы тепловых сетей и графика изменения температуры теплоносителя в зависимости от изменения температуры наружного воздуха.

Системы отопления присоединяем по независимой схеме, предусматривающей установку водоподогревателей.

Системы горячего водоснабжения подсоединяем по зависимой двухступенчатой схеме.

Водоподогревателями для систем отопления и горячего водоснабжения служат пластинчатые водоподогреватели.

Различаются температуры теплоносителей, их расходы, а также расчётные температуры, для которых производится расчёт.

При расчете пластинчатого водоподогревателя оптимальная скорость принимается исходя из получения таких же потерь давления в установке по нагреваемой воде, как при применении кожухотрубного водоподогревателя - 100 -150 кПа, что соответствует скорости воды в каналах $W_{OPT} = 0,4$ м/с.

Поэтому, выбрав тип пластины рассчитываемого водоподогревателя горячего водоснабжения, по оптимальной скорости находим требуемое количество каналов по нагреваемой воде m_H

$$m_H = \frac{G_{h\max}}{W_{onm} f_k \rho \cdot 3600}.$$

где f_k — живое сечение одного межпластинчатого канала;

$G_{h\max}$ — максимальный расход воды, циркулирующий в системе отопления.

Компоновка водоподогревателя симметричная, т. е. количество каналов по греющей воде $m_{ГР}=m_H$. Общее живое сечение каналов в пакете по ходу греющей и нагреваемой воды

$$f_{zp} = f_H = m_H f_k$$

Находим фактические скорости греющей и нагреваемой воды, м/с

$$W^{zp} = \frac{G_d}{3600 f_{zp} \rho}$$

$$W'' = \frac{G_d}{3600 f_H \rho}$$

где G_d — расчетный расход воды из тепловой сети на тепловой пункт.

Коэффициент теплоотдачи a_1 , Вт/(м²·К), от греющей воды к стенке пластины определяется по формуле

$$a_1 = 1,16A \left[23000 + 283 t_{cp}^{zp} - 0,63 (t_{cp}^{zp})^2 \right] W_{zp}^{0,73}$$

где A — коэффициент, зависящий от типа пластин;

где $t_{cp}^{zp} = \frac{t_{ex}^{zp} + t_{bx}^{zp}}{2}$;

t_{bx}^{zp} — температура греющей воды на входе в теплообменник;

$t_{вых}^{zp}$ — температура греющей воды на выходе из теплообменника.

Коэффициент теплоотдачи a_2 , Вт/(м²·К), от стенки пластины к нагреваемой воде принимается по формуле

$$a_2 = 1,16A \left[23000 + 283 t_{cp}^H - 0,63 (t_{cp}^H)^2 \right] W_H^{0,73}$$

где $t_{cp}^H = \frac{t_{ex}^H + t_{bx}^H}{2}$;

t_{bx}^H — температура нагреваемой воды на входе в теплообменник;

$t_{вых}^H$ — температура нагреваемой воды на выходе из теплообменника.

Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м²·К), определяется по формуле

$$K = \frac{\beta}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}}$$

где β — коэффициент, учитывающий уменьшение коэффициента теплопередачи из-за термического сопротивления накипи и загрязнений на пластине, в зависимости от качества воды принимается в диапазоне 0,7 — 0,85;

α_1 — коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя к пластинам теплообменника;

α_2 — коэффициент теплоотдачи от пластин теплообменника к нагреваемому теплоносителю;

$\delta_{ст}$ - толщина пластины;

$\lambda_{ст}$ - коэффициент теплопроводности пластины.

При заданной величине расчетной производительности Q^{SP} и по полученным значениям коэффициента теплопередачи k и температурному напору Δt_{cp} определяется необходимая поверхность нагрева $F_{тр}$ по формуле

$$F_{тр} = \frac{Q^{SP}}{k \cdot \Delta t_{cp}}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{2,31 \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}}}$$

При сборке водоподогревателя из двух отдельных теплообменников и более теплопроизводительность уменьшается соответственно в 2 раза и более.

Количество ходов в теплообменнике, X

$$X = \frac{F_{тр} + f_{пл}}{2 \cdot m \cdot f_{пл}}$$

где $f_{пл}$ — поверхность нагрева одной пластины, m^2 ;

Число ходов округляется до целой величины. В одноходовых теплообменниках четыре штуцера для подвода и отвода греющей и нагреваемой воды располагаются на одной неподвижной плите. В многоходовых теплообменниках часть штуцеров должна располагаться на подвижной плите, что вызывает некоторые сложности при эксплуатации. Поэтому целесообразней вместо устройства многоходового теплообменника разбить его по числу ходов на отдельные теплообменники, соединенные по одному теплоносителю последовательно, а по другому — параллельно, с соблюдением противоточного движения.

Действительная поверхность нагрева всего водоподогревателя определяется по формуле

$$F = (2 \cdot m \cdot X - 1) \cdot f_{\text{пл}}$$

Потери давления ΔP кПа в водоподогревателях следует определять по формулам:

для нагреваемой воды

$$\Delta m_n = \varphi \cdot B \cdot (33 - 0,08 t_{cp}^n) \cdot W_n^{1,75} \cdot X ;$$

для греющей воды

$$\Delta m_n = \varphi \cdot B \cdot (33 - 0,08 t_{cp}^n) \cdot W_n^{1,75} \cdot X$$

где φ — коэффициент, учитывающий накипеобразование, который для греющей сетевой воды равен единице, а для нагреваемой воды должен приниматься по опытным данным, при отсутствии таких данных можно принимать $\varphi = 1,5—2,0$;

B — коэффициент, зависящий от типа пластины;

W_n — скорость при прохождении максимального секундного расхода нагреваемой воды;

$W_{гр}$ - скорость при прохождении максимального секундного расхода греющей воды.

Расчёты водоподогревателей выполнены с помощью программы «ТЕПЛОВОЙ ПУНКТ»

1. Регулирование отпуска теплоты в системе централизованного теплоснабжения принято центральное, качественное по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения.

2. Температура теплоносителя (греющей воды) в тепловой сети в соответствии с принятым для данной системы теплоснабжения графиком

изменения температуры воды в зависимости от температуры наружного воздуха принята:

при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления $t_0 = -39\text{ }^{\circ}\text{C}$:

в подающем трубопроводе $\tau_1 = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$;

в обратном трубопроводе $\tau_2 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$;

в точке излома графика температуры $t'_H = -2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$:

в подающем трубопроводе $\tau'_1 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$;

в обратном трубопроводе $\tau'_2 = 38\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. Температура холодной водопроводной (нагреваемой) воды в отопительный период, поступающей в водоподогреватель ступени, $t_c = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (по данным эксплуатации).

4. Температура воды, поступающей в систему горячего водоснабжения на выходе из II ступени водоподогревателя $t_h = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Максимальный тепловой поток на отопление потребителей, присоединенных к ИТП.

2.7.1 Расчёт водоводяного подогревателя системы отопления

Исходные данные:

Температура греющей воды на входе в подогреватель $t_{\text{гр_вх}}^{\text{гр}} = \tau_1 = 130^{\circ}\text{C}$.
Температура греющей воды на выходе из подогревателя $t_{\text{гр_вых}}^{\text{гр}} = \tau_2 = 75^{\circ}\text{C}$ (принимается на $5\text{--}10^{\circ}\text{C}$ выше τ_{02}). Температура нагреваемой воды на выходе из подогревателя $t_{\text{вых}}^{\text{H}} = \tau_{01} = 95^{\circ}\text{C}$. Температура нагреваемой воды на входе в подогреватель $t_{\text{вх}}^{\text{H}} = \tau_{02} = 70^{\circ}\text{C}$.)

Расчёт водоводяного подогревателя системы отопления здания выполнялся по компьютерной программе, разработанной с помощью Microsoft Excel (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты расчёта теплообменника дежурного отопления теплового пункта.

Расход теплоты, кВт	136,609
Температура нагреваемой воды на входе, °С	70
Температура нагреваемой воды на выходе, °С	95
Температура греющей воды на входе, °С	130
Температура греющей воды на выходе, °С	75
ΔP_n , кПа	163,7270638
$\Delta P_{гр}$, кПа	98,86179606
Живое сечение одного канала	0,00245
Расход нагреваемой воды, кг/ч	13184
Расход греющей воды, кг/ч	2135,46625
Соотношение ходов, X_1/X_2	2,73990081
$X_1/X_2 < 2$. Принимается симметричная компоновка	
Требуемое кол-во каналов по нагреваемой воде	5
Скорость в каналах нагреваемой воды, м/с	0,319608067
Скорость в каналах греющей воды, м/с	0,051766495
Средняя температура нагреваемой среды, °С	82,5
Средняя температура греющей среды, °С	102,5
Коэфф. теплоотдачи к нагреваемой среде, Вт/(м²К)	10438,99735
Коэфф. теплоотдачи от греющей среды, Вт/(м²К)	2982,806727
Коэфф. теплопередачи теплообменника, Вт/(м²К)	2233,558694
Среднелогарифмический температурный напор, °С	15,41695027
Требуемая поверхность теплопередачи теплообменника, м²	3,96982246

2.7.2 Расчёт водоводяных подогревателей 1 и 2 ступеней системы горячего водоснабжения

Исходные данные:

Температура нагреваемой воды за водоподогревателем 1 ступени

$$t'_h = t'_2 - 5$$

где $t'_2 = 38^\circ\text{C}$ температура греющей воды на выходе из подогревателя 2 ступени при температуре излома температурного графика.

Расчетная производительность водоподогревателя I ступени, кВт

$$Q_{h1} = G_{hгвс} \cdot c \cdot (t'_h - t_c)$$

Расчетная производительность водоподогревателя II ступени, кВт

$$Q_{h1} = Q_{гвс} - Q_{h1}$$

Температура греющей воды на выходе из водоподогревателя II ступени τ_2 и на входе в водоподогреватель I ступени τ_1^I

$$\tau_2^{II} = \tau_1^I = \tau_1' - \frac{3,6 \cdot Q_h^{SPII}}{c \cdot G_d}$$

Температура греющей воды на выходе из водоподогревателя II ступени

$$\tau_2^I = \tau_1' - \frac{3,6 \cdot Q_h^{SP}}{c \cdot G_d}$$

Расчёт водоводяных подогревателей 1 и 2 ступеней системы горячего водоснабжения выполнялся по компьютерной программе, разработанной с помощью Microsoft Excel (таблица 3).

Расчет требующейся поверхности нагрева подогревателей производится на максимум расхода тепла при минимальной температуре воды, подаваемой из тепловой сети во время отопительного периода, т.е. в точки излома отопительного графика, и проверяется при температуре воды, подаваемой из тепловой сети в летний период.

Исходные данные для расчета подогревателей горячего водоснабжения при температурах греющей воды, соответствующих точке излома температурного графика:

$Q_{гв}$ – максимальный часовой расход тепла на горячее водоснабжение, ккал/ч;

$Q_{от}$ – максимальный часовой расход тепла на отопление при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления, ккал/ч;

$T_{\text{ПОД}}$ – температуру греющей воды в подающем трубопроводе при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования и отопления, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{\text{ОБР}}$ – то же, в обратном трубопроводе, $^{\circ}\text{C}$;

$G_{\text{ОТ}}$ – расход греющей воды на отопление, т/ч:

$$G_{\text{ОТ}} = Q_{\text{ОТ}} / (T_{\text{ПОД}} - T_{\text{ОБР}}) * 1000$$

t_1 – температура горячей воды, поступающей в местную системы горячего водоснабжения, $^{\circ}\text{C}$, обычно

$$t_1 = 60^{\circ}\text{C};$$

t_1 – температура холодной (водопроводной) воды в летний период, $^{\circ}\text{C}$, обычно

$$t_1 = 5^{\circ}\text{C};$$

$G_{\text{ГВ}}^{\text{НАГР}}$ – расход нагреваемой воды на горячее водоснабжение, т/ч

$$G_{\text{ГВ}}^{\text{НАГР}} = Q_{\text{ГВ}} / (t_1 - t_2) * 1000$$

T_1 – температура греющей воды на входе в подогреватель второй ступени в точке излома температурного графика, $^{\circ}\text{C}$; при отопительном графике $T_1 = 70^{\circ}\text{C}$. При повышенном графике T_1 указывается теплоснабжающей организацией;

$T_{\text{ОТ}}$ – температура греющей воды после системы отопления, $^{\circ}\text{C}$. $T_{\text{ОТ}}$ зависит от схемы присоединения отопительной системы к тепловой сети.

При непосредственном присоединении системы отопления без снижения температуры греющей воды или через элеватор, или смесительные насосы, температура воды после системы отопления принимается по таблице.

При независимом присоединении системы отопления через скоростной водоводяной подогреватель температура греющей воды после подогревателя отопления принимается на $5 \div 10^{\circ}\text{C}$ выше температуры обратной воды после системы отопления, которая берется из таблицы.

T_3 – температура греющей воды после подогревателя второй ступени и на входе в подогреватель первой ступени принимается равной температуре воды после системы отопления, $^{\circ}\text{C}$:

$$T_3 = T_{\text{от}}$$

t_3 – температура нагреваемой воды на выходе из подогревателя первой ступени и на входе в подогреватель второй ступени принимается на $5\text{-}10^{\circ}\text{C}$ ниже температуры греющей воды после подогревателя второй ступени, $^{\circ}\text{C}$.

$$t_3 = T_3 - 10^{\circ}\text{C} (5^{\circ}\text{C})$$

$Q_{\text{ГВ}}^{\text{II}}$ – производительность подогревателя второй ступени, ккал/ч:

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{II}} = Q_{\text{ГВ}} * (t_1 - t_3) / (t_1 - t_2)$$

$G_{\text{ГВ}}^{\text{ГР}}$ – расход греющей воды через подогреватель второй ступени, т/ч:

$$G_{\text{ГВ}}^{\text{ГР}} = Q_{\text{ГВ}}^{\text{II}} / (T_1 - T_3) * 1000$$

$Q_{\text{ГВ}}^{\text{I}}$ – производительность подогревателя первой ступени, ккал/ч:

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{I}} = Q_{\text{ГВ}} - Q_{\text{ГВ}}^{\text{II}}$$

$G_{\text{СУМ}}$ – суммарный расход греющей воды через подогреватель первой ступени, т/ч:

$$G_{\text{СУМ}} = G_{\text{от}} + G_{\text{ГВ}}^{\text{ГР}}$$

T_2 – температура греющей воды после подогревателя первой ступени, определяемая из уравнения теплового баланса подогревателя первой ступени, $^{\circ}\text{C}$:

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{I}} = G_{\text{СУМ}} * (T_3 - T_2), \text{отсюда}$$

$$T_2 = T_3 - (Q_{\text{ГВ}}^{\text{I}} / G_{\text{СУМ}} * 1000)$$

По общепринятой методике теплового расчета подогревателей определяются требующиеся поверхности нагрева F_{I} и F_{II} и количество секций n_{I} и n_{II} первой и второй ступеней.

В результате расчета в качестве водоподогревателей отопления и горячего водоснабжения принимаем теплообменники разборной конструкции (Р) с пластинами типа 0,3р, толщиной 1 мм, из стали 12Х18Н10Т (исполнение 01), на двухопорной раме (исполнение 2К), с уплотнительными прокладками из

резины марки ИРП-1225 (ТУ 38-1051023-89) симметричной компоновки. Для этой конструкции поверхность теплообмена может меняться в диапазоне 3-10 м².

Таблица 3 – Результаты расчёта теплообменника горячего водоснабжения теплового пункта.

Расход теплоты, кВт	388,67
Т-ра нагреваемой воды на входе в 1 ступень, °С	5
Т-ра нагреваемой воды на выходе из 2 ступени, °С	60
Температура излома графика температур Т _и , °С	-2,8
Т-ра греющей воды на входе в 1 ступень при Т _и , °С	70
Т-ра греющей воды на выходе из 2 ступени при Т _и , °С	38
Расход нагреваемой воды, кг/ч	9576
Расход греющей воды, кг/ч	10435,6504
Расход теплоты в теплообм-ке 1 ступени, кВт	48,58375
Расход теплоты в теплообм-ке 2 ступени, кВт	340,08625
Т-ра греющей воды на входе во 2 ступень при Т _и , °С	66
Т-ра нагр-мой воды на входе во 2 ступень при Т _и , °С	37
<i>Теплообменник 1 ступени</i>	
ΔР _н , кПа	100
ΔР _{гр} , кПа	40
Живое сечение одного канала	0,00196
Соотношение ходов, X ₁ /X ₂	0,71247776
X ₁ /X ₂ <2.Принимается симметричная компоновка	
Требуемое кол-во каналов по нагреваемой воде	4
Скорость в каналах нагреваемой воды, м/с	0,30894309
Скорость в каналах греющей воды, м/с	0,33667732
Средняя температура нагреваемой среды, °С	21
Средняя температура греющей среды, °С	29,1
Коэфф. теплоотдачи к нагреваемой среде, Вт/(м ² К)	6940,47042
Коэфф. теплоотдачи от греющей среды, Вт/(м ² К)	7915,0414
Коэфф. теплопередачи теплообменника, Вт/(м ² К)	3483,21799
Среднелогарифмический температурный напор, °С	19,2642325
Требуемая поверхность теплопередачи	0,72403351
теплообменника, м ²	
<i>Теплообменник 2 ступени</i>	
Средняя температура нагреваемой среды, °С	48,5
Средняя температура греющей среды, °С	52

Коэфф. теплоотдачи к нагреваемой среде, Вт/(м²К)	8533,24931
Коэфф. теплоотдачи от греющей среды, Вт/(м²К)	9284,15207
Коэфф. теплопередачи теплообменника, Вт/(м²К)	4139,65971
Среднелогарифмический температурный напор, °С	17,8452225
Требуемая поверхность теплопередачи теплообменника, м²	4,60365175

2.7.3 Расчет и построение повышенного температурного графика

1. Балансовую тепловую нагрузку горячего водоснабжения рассчитаем по формуле:

$$Q^{\delta} = \chi \cdot Q_{огс}^{op} = 1,2 \cdot 388,67 = 466,4 \text{ кВт}$$

2. Суммарный перепад температур сетевой воды в подогревателях нижней и верхней ступеней определим по формуле:

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 = \frac{Q^{\delta}}{Q_o} \cdot (\tau_1 - \tau_2) = \frac{136,609}{466,4} \cdot (130 - 70) = 17,6 \text{ °С}$$

3. Принимая недогрев водопроводной воды до температуры греющей воды в подогревателе нижней ступени равным 10 °С, находим температуру нагреваемой водопроводной воды после нижней ступени подогревателя при t'_n по формуле:

$$t' = \tau'_2 - \Delta t_n = 42,34 - 10 = 32,34 \text{ °С}$$

где τ'_2 — температура сетевой воды в обратной магистрали, соответствующая точке излома температурного графика.

4. Далее определяем перепад температур сетевой воды δ_2 в нижней ступени подогревателя при t'_n :

$$\delta'_2 = \delta \frac{(t' - t_x)}{(t_2 - t_x)} = 17,6 \frac{(32,34 - 5)}{(60 - 5)} = 8,7 \text{ °С}$$

где t_g — температура воды, поступающая в систему горячего водоснабжения, 60 °С;

t_x — температура холодной воды в отопительный период, 5 °С

при $t_{нро}$:

$$\delta_2 = \delta'_2 \frac{(\tau_2 - t_x)}{(\tau'_2 - t_x)} = 8,7 \cdot \frac{(70 - 5)}{(42,34 - 5)} = 15,1^\circ\text{C}$$

5. Температуру сетевой воды в обратной магистрали для повышенного температурного графика находим по формулам:

при $t_{\text{нро}}$:

$$\tau_{2n} = \tau_2 - \delta_2 = 70 - 15,1 = 55,9^\circ\text{C}$$

при t'_n :

$$\tau'_{2n} = \tau'_2 - \delta'_2 = 42,34 - 8,7 = 33,64^\circ\text{C}$$

6. Далее находим перепад температур сетевой воды в верхней ступени подогревателя:

при $t_{\text{нро}}$:

$$\delta_1 = \delta - \delta_2 = 17,6 - 15,1 = 2,5^\circ\text{C}$$

при t'_n :

$$\delta'_1 = \delta - \delta'_2 = 17,6 - 8,7 = 8,9^\circ\text{C}$$

7. Далее рассчитаем температуру сетевой воды в подающей магистрали:

при $t_{\text{нро}}$:

$$\tau_{1n} = \tau_1 + \delta_1 = 130 + 2,5 = 132,5^\circ\text{C}$$

при t'_n :

$$\tau'_{1n} = \tau'_1 + \delta'_1 = 70 - 8,9 = 78,9^\circ\text{C}$$

8. По рассчитанным данным строим графики $\tau_{1n} = f(t_n)$ и $\tau_{2n} = f(t_n)$, (рисунок 6).

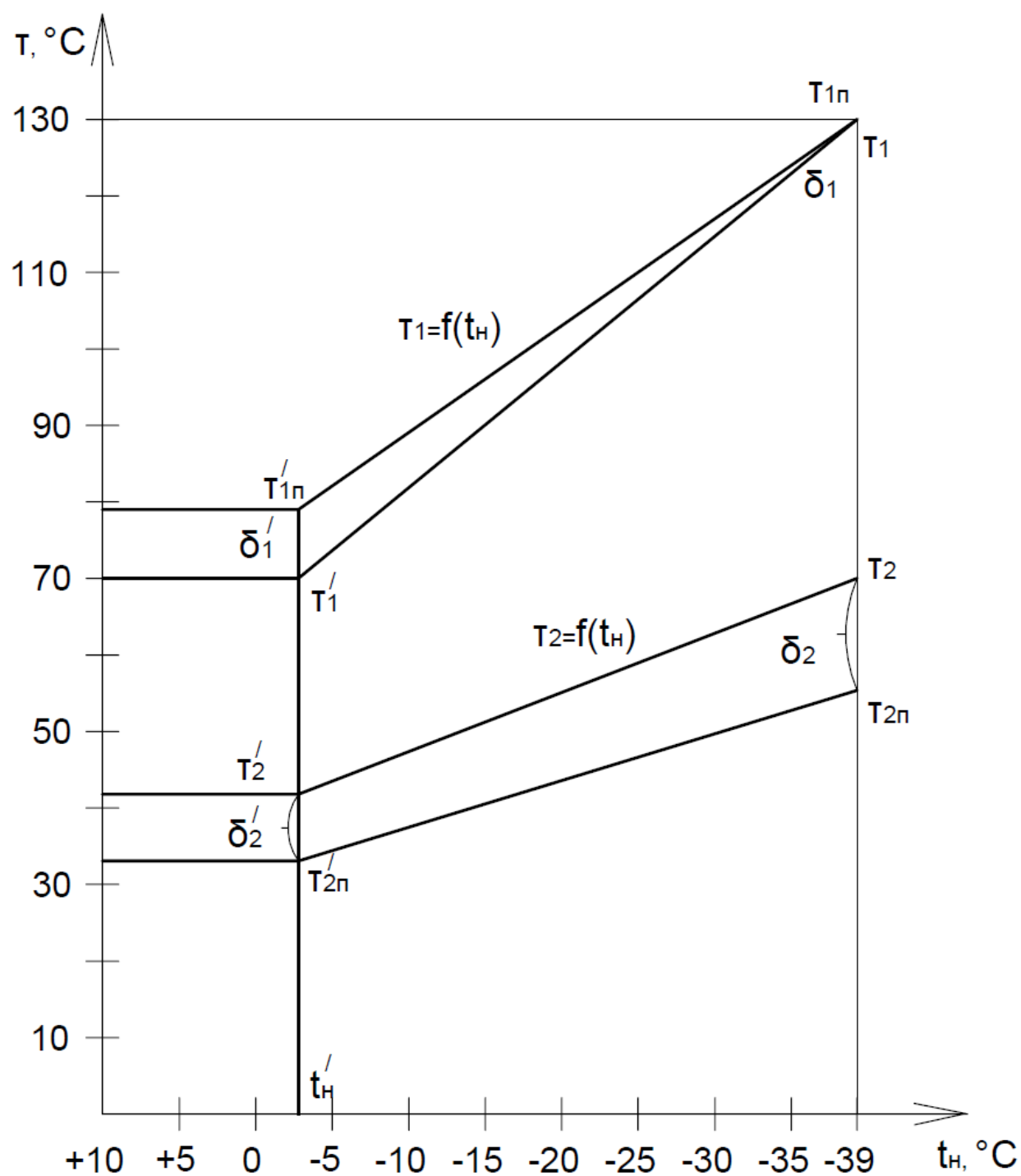


Рисунок 6 – Повышенный температурный график

2.8 Автоматика индивидуального теплового пункта

Индивидуальный тепловой пункт (ИТП) устанавливается в отдельных городских зданиях и предназначен для распределения, учета и регулирования тепловой энергии в системах отопления, вентиляции, кондиционирования и горячего водоснабжения. ИТП включает три пластинчатых теплообменника: один для системы отопления, два - для системы горячего водоснабжения. Для осуществления автоматического регулирования расхода теплоты на отопление в ИТП с независимым присоединением квартальных сетей устанавливается комплект, состоящий из регулятора, регулирующего органа и датчиков температур теплоносителя, наружного и желательно внутреннего воздуха.

Эффективная эксплуатация ИТП обеспечивается применением автоматического регулирования. При установлении оптимального режима работы экономия теплоты может составить 20 % и более годового потребления. Средства автоматики и контроля обеспечивают работу тепловых пунктов без постоянного обслуживающего персонала (с пребыванием персонала не более 50 % рабочего времени).

Эксплуатация ИТП без средств автоматики запрещается. Необходимый минимальный объем оснащения оборудования ИТП средствами автоматики безопасности, сигнализации, автоматического регулирования контроля и управления должны быть определены в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и требованиями заводов-изготовителей, технологического оборудования и устройств автоматики с учетом специфических особенностей ИТП.

Функциональная схема автоматического регулирования ИТП показана на рисунке 7.

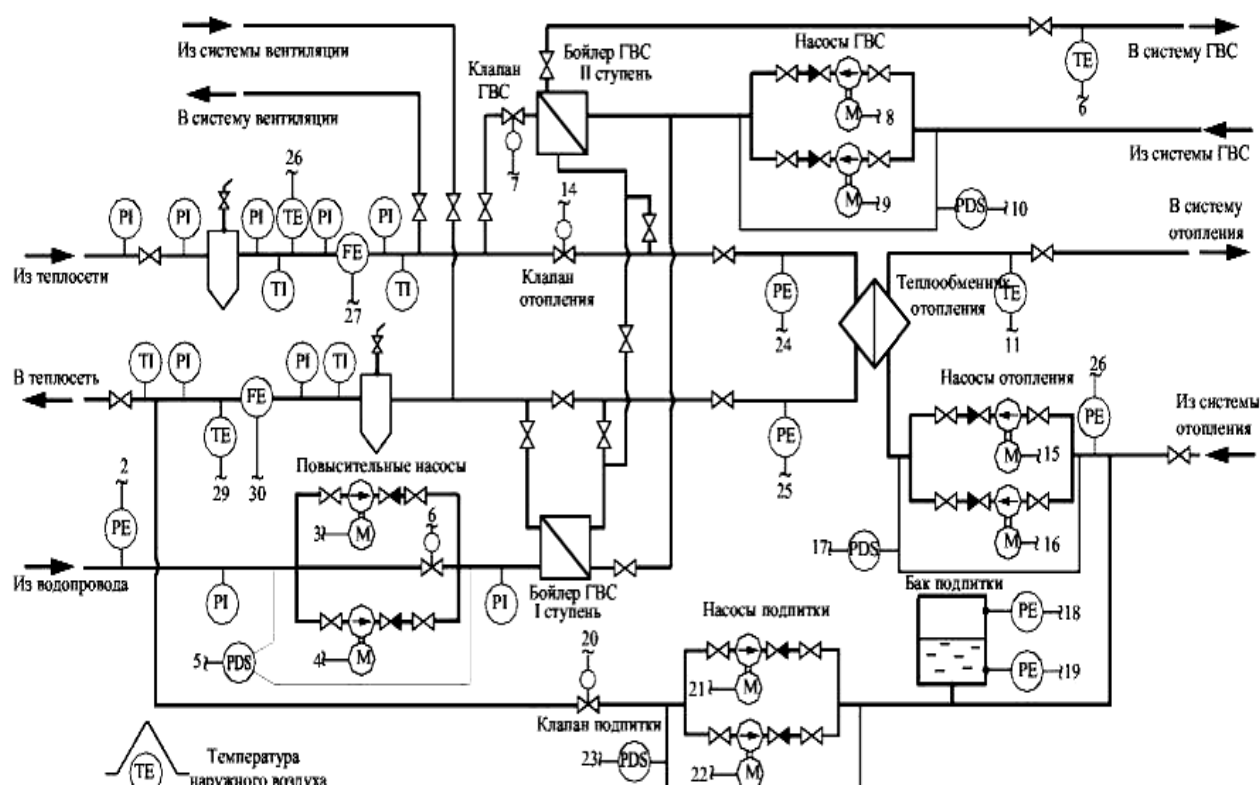


Рисунок 7- Схема автоматики ИТП

Таблица 4 – Оборудование для автоматики ИТП (спецификация).

НАЗНАЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ	ТРЕБОВАНИЯ	КОЛ- ВО	ОБОЗНАЧЕНИЕ НА СХЕМЕ	ВОЗМОЖНЫЙ ТИП ОБОРУДОВАНИЯ
Датчик температуры прямой воды в системе отопления	Термометр сопротивления ТСМ 50М	1 шт	11	ТСМ50М
Датчик температуры на- ружного воздуха	Термометр сопротивления ТСМ 50М	1 шт	12	ТСМ 50М
Датчик температуры об- ратной воды в теплотель	Термометр сопротивления ТСМ 50М	1 шт	29	ТСМ 50М
Датчик температуры в системе ГВС	Термометр сопротивления ТСМ 50М	1 шт	6	ТСМ 50М
Датчик температуры воздуха в помещении	Термистор 10К, тип 2	1 шт	13	Термистор 10К, тип 2
Датчик давления обратной воды вторичного контура (в системе отопления)	Датчик постоянного тока 4 - 20 мА	1 шт	26	КРТ-1
Датчик давления прямой воды первого контура (в системе отопления)	Датчик постоянного тока 4 - 20 мА	1 шт	24	КРТ-1

Датчик давления обратной воды первого контура (в системе отопления)	Датчик постоянного тока 4 - 20 мА	1 шт	25	КРТ-1
Датчик перепада давления на насосах отопления	Датчик с дискретным выходом: вход шкафа замкнут - перепад давления есть \ вход разомкнут - перепада давления нет	1 шт	17	ДЭМ202-1-01-2
Датчик перепада давления на насосах ГВС	Датчик с дискретным выходом: вход шкафа замкнут - перепад давления есть \ вход разомкнут - перепада давления нет	1 шт	10	ДЭМ202-1-01-2
Клапан отопления	Исполнительный механизм постоянной скорости, подключаемый по трехпроводной схеме (БОЛЬШЕ, о.т., МЕНЬШЕ). Питание ~220 В. Для управления используются сисмисторные ключи модуля MRC .	1 шт	14	КЗР Ду 80
Клапан ГВС	Исполнительный механизм постоянной скорости, подключаемый по трехпроводной схеме (БОЛЬШЕ, о.т., МЕНЬШЕ). Питание ~220 В. Для управления используются сисмисторные ключи модуля MRC .	1 шт	7	КЗР ДН 25
Задвижка подпитки	Исполнительный механизм ~220 В постоянной скорости, подключаемый по двухпроводной схеме (ОТКРЫТЬ/ЗАКРЫТЬ, о.т.). Питание ~220 В. Для управления используются релейный ключ модуля MRC.	1 шт	20	Belimo LR230-8
Насосы отопления	Скорость постоянная. Питание ~220 В. Включение через пускатель. Для управления используются релейный ключ модуля MRC.	1 шт	8,9	GRUNDFOS TR-100
Повысительные насосы ГВС	Скорость постоянная. Питание ~220 В. Включение через пускатель. Для управления используются релейный ключ модуля MRC.	1 шт	3,4	AUP100L2ЖУ2
Циркуляционные насосы ГВС	Скорость постоянная. Питание ~220 В. Включение через пускатель. Для управления используются релейный ключ модуля MRC.	1 шт	8,9	AUP100L2ЖУ2
Теплосчетчик	Теплосчетчик ТЭМ-05М	1 шт	27-30	ТЭМ-05М

3. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Экономичность системы отопления обусловлена стоимостью материалов и оборудования, изготовления и сборки, а также эксплуатации. Показателями экономичности являются технологичность конструкции, масса элементов, затраты труда, сроки изготовления и монтажа, расходы на наладку, управление и ремонт.

3.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения

Проект выполняется совместно, руководитель и исполнитель. Расчеты по проекту приведены в таблице 5.

Планирование работ и их временная оценка приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Этапы выполнения проекта и их продолжительность

№	Наименование работы	Количество исполнителей	Продолжительность дней
1	Выдача и получение задания	Инженер Научный руководитель	1 1
2	Поиск, подготовка, сбор материалов для работы	Инженер	10
3	Расчет сисями отопления и подбор отопительных приборов депо	Инженер	15
4	Проверка расчетов, сбор теоретических материалов	Инженер Научный руководитель	2 2
5	Расчет и выбор оборудования индивидуального теплового пункта депо	Инженер	10
6	Проверка расчетов	Научный руководитель Инженер	2 2
7	Разработка графической части	Инженер	7
8	Разработка отчета, доклада.	Инженер Научный руководитель	3 2
Итого: Инженер			50
Научный руководитель			5

3.2 Смета затрат на проект

Капитальные затраты на проектирование рассчитываются по следующим элементам расходов с последующим суммированием:

$$K_{np} = K_{mat} + K_{ам} + K_{з/пл} + K_{с.о.} + K_{проч} + K_{накл},$$

где K_{mat} - затраты на материал

$K_{ам}$ - амортизационные отчисления;

$K_{з/пл}$ - затраты на заработную плату;

$K_{с.о.}$ - социальные отчисления;

$K_{проч}$ - прочие затраты;

$K_{накл}$ - накладные расходы.

3.2.1 Материальные затраты

При проектировании использованы следующие материалы, приведенные в таблице 6.

Таблица 6 – Расходы на этапе проектирования на материальные затраты

Наименование	Количество	Общая стоимость, руб.
Бумага формат А4	100 листов	205
Бумага формат А1	7 листов	280
Краска для принтера	1 картридж для принтера	825
Прочее		500
Всего		1810

3.2.2 Амортизация основных фондов

Отражает сумму амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, рассчитанную исходя из балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации.

Для разработки проекта использовалась компьютерная техника, в связи с чем, необходимо определить амортизацию от ее использования.

Таблица 7 - Основные фонды при выполнении проекта

Вид техники	Количество	Общая стоимость	Норма амортизации
Компьютер	1	40000	20%

Принтер	1	15000	20%
---------	---	-------	-----

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}},$$

где, $T_{исп.кт}$ - время использования компьютерной техники, 60 дней;

$T_{кал}$ - календарное время, 365 дней;

$Ц_{кт}$ - цена компьютерной техники, 55 000 руб.;

$T_{сл}$ - срок службы компьютерной техники, 5 лет.

$$K_{ам} = \frac{50}{365} \cdot 55000 \cdot \frac{1}{5} = 1808 \text{ руб.}$$

3.2.3 Затраты на оплату труда

В состав затрат на оплату труда включаются: выплаты заработной платы за фактически выполненные работы, должностных окладов в соответствии с принятыми на предприятии нормами и системами оплаты труда; выплаты стимулирующего характера по системным положениям; выплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда.

При выполнении проекта заработная плата рассчитывается следующим образом:

$$ЗП_{мес} = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2,$$

где, $ЗП_0$ - месячный оклад исполнителей проекта (НР-26300руб, инженер 17000руб.),

K_1 - коэффициент учитывающий отпуск (1,1),

K_2 - районный коэффициент (1,3).

Определим заработную плату научного работника

$$ЗП_{ф} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n,$$

где, 21 – рабочих дней в месяце;

n – фактическое число отработанных дней,

$$ЗП_{НР} = \frac{26300 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{21} \cdot 5 = 8954 \text{ руб.}$$

Определим заработную плату инженера

$$ЗП_{инж} = \frac{17000 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{21} \cdot 50 = 57881 \text{ руб.}$$

Всего затрат на оплату труда

$$K_{з/пл} = 8954 + 57881 = 66835 \text{ руб.}$$

3.2.4 Отчисления на социальные нужды

Данная статья отражает обязательные отчисления по установленным законодательным нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Затраты на социальные нужды рассчитываются как доля (30%) от затрат на оплату труда:

$$K_{с.о} = K_{з/пл} \cdot 0,3,$$

$$K_{з/пл} = 66835 \cdot 0,3 = 20051 \text{ руб.}$$

3.2.5 Прочие затраты

К прочим затратам себестоимости проекта относятся налоги, отчисления во внебюджетные фонды, вознаграждения за изобретения и рационализаторские предложения, затраты на командировки и т.д. Прочие затраты рассчитаем как 10% от суммы материальных затрат, затрат на заработную плату и отчислений на социальные нужды и амортизационных отчислений:

$$K_{пр} = 0,1 \cdot (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{з/пл} + K_{с.о}),$$

$$K_{пр} = 0,1 \cdot (1810 + 1808 + 66835 + 20051) = 9050 \text{ руб.}$$

3.2.6 Накладные расходы

При выполнении проекта в стоимости проекта учитываются накладные расходы, включающие в себя затраты на аренду помещений, оплату тепловой и электрической энергии, затраты на ремонт зданий и сооружений, заработную плату административных сотрудников и т.д. Накладные расходы рассчитываются как 200% от затрат на оплату труда.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2,$$

$$K_{\text{накл}} = 66835 \cdot 2 = 133670 \text{ руб.}$$

Таблица 8 – Смета затрат

Элементы затрат	Стоимость, руб.
Материальные затраты	1810
Амортизация компьютерной техники	1808
Затраты на заработную плату	66835
Затраты на социальные нужды	20051
Прочие затраты	9050
Накладные расходы	133670
Итого $K_{\text{пр}}$	233224

3.3 Смета затрат на оборудование

Капитальные затраты на монтаж системы отопления здания состоят из:

- затрат на разработку проекта (определены выше 233,251 тыс.р.);
- затрат на приобретение исходных материалов и вспомогательного оборудования;
- затрат на выполнение строительно-монтажных работ;

Затраты на приобретение радиаторов отопления, систем лучистого обогрева, тепловых завес, насосов, теплообменников, трубопроводов, арматуры составят $K_{\text{об}}=10$ млн.р.

Затраты на строительно-монтажные работы составят:

$$K_{\text{мон}} = K_{\text{об}} \cdot 0,3 = 10\,000 \cdot 0,3 = 3000 \text{ тыс.р.}$$

Итого капитальные затраты для реализации проекта составили 13 млн. руб.

3.4 Расчет экономической эффективности проекта

Оценка экономического эффекта от перевода существующей системы электрического отопления на систему комбинированного водяного и лучистого отопления.

Годовое количество вырабатываемого тепла равно $Q_{\text{год}} = 2037$ Гкал/год. Для выработки того же количества тепла электрическими конвекторами требуется 2376666 кВт·ч/год (тариф за электрическую энергию в кВт·ч).

Для покупки такого количества тепла необходимо понести следующие затраты:

$$З = Q_{\text{год}} \cdot T$$

где $Q_{\text{год}}$ – годовая выработка тепловой энергии,

T – тариф (на поставку тепла $T = 1650$ руб/Гкал или электрической энергии 2,5 руб/кВт·ч).

До реконструкции: $З_{\text{до}} = 2376666 \cdot 2,5 = 5942$ тыс.р.

После реконструкции: $З_{\text{после}} = 2037 \cdot 2,5 = 3361$ тыс.р.

Значит годовой экономический эффект равен:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = З_{\text{до}} - З_{\text{после}} = 5942 - 3361 = 2581 \text{ тыс.р.}$$

Годовые эксплуатационные издержки на обслуживание системы отопления и ИТП 200 тыс.р.

Срок окупаемости проекта определяем по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{пр}} + K_{\text{об}} + K_{\text{мон}}}{\mathcal{E}_{\text{год}} - I_{\text{год}}}$$

где $K_{\text{пр}}$ - затрат на выполнение проекта;

$K_{\text{об}}$ - затрат на приобретение исходных материалов и вспомогательного оборудования;

$K_{\text{мон}}$ - затраты на выполнение строительно-монтажных работ;

$$T_{\text{ок}} = \frac{233,251 + 10000 + 3000}{2581 - 200} = 5,5 \text{ лет}$$

4. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Изучение и решение проблем, связанных с обеспечением здоровых и безопасных условий, в которых протекает труд человека - одна из наиболее важных задач в разработке новых технологий и систем производства. Изучение и выявление возможных причин производственных несчастных случаев, профессиональных заболеваний, аварий, взрывов, пожаров, и разработка мероприятий и требований, направленных на устранение этих причин позволяют создать безопасные и благоприятные условия для труда человека.

В данном разделе мною проведен анализ условий труда монтажников при наружной прокладке труб тепловой сети, выполнен расчет устойчивости самоходного крана СМК-10, с помощью которого осуществляется монтаж теплостеи и рассмотрены средства коллективной и индивидуальной защиты от вредных и опасных производственных факторов монтажников теплосети.

4.1. Анализ условий труда при прокладке тепловых сетей

Теплоснабжение объектов депо осуществляется посредством тепловой сети от котельной до основного здания депо, мастерской и бытового корпуса. Прокладка тепловой сети в двухтрубном исполнении, наружная. Протяженность теплосети составляет 180 м. Трубопроводы монтируются на высоте 4 м на опорах для свободного проезда транспорта по территории депо.

Работы по наружной прокладке теплосети осуществляются с помощью спецтехники, электросварщиками и монтажниками наружных трубопроводов.

Монтажники наружных трубопроводов при производстве работ согласно имеющейся квалификации обязаны выполнять требования безопасности, изложенные в «Типовой инструкция по охране труда для монтажников наружных трубопроводов» ТОИ Р-66-15-93* [1], разработанной с учетом строительных норм и правил Российской Федерации, а также требования инструкций заводов-изготовителей по эксплуатации применяемых инструментов, оборудования, оснастки и средств защиты.

Перед началом работы монтажники предъявляют руководителю удостоверение о проверке знаний безопасных методов и приемов работ и проходят инструктаж на рабочем месте с учетом специфики выполняемых работ, надевают каску, спецодежду, спецобувь установленного образца, получают задание на выполнение работы у бригадира или руководителя.

После получения задания монтажники проверяют рабочее место и подходы к нему на соответствие требованиям безопасности, подбирают технологическую оснастку и инструмент, необходимые при выполнении работы, проверить соответствие их требованиям безопасности труда, осматривают элементы конструкций трубопроводов, предназначенных для монтажа, чтобы убедиться в отсутствии у них дефектов.

Так как монтаж тепловой сети ведется вблизи линии электропередач, монтаж ведется при снятом напряжении.

При прокладке наружных трубопроводов монтажники при работе с электроинструментом первого или второго класса защиты применяют средства индивидуальной защиты (диэлектрические перчатки, галоши, коврики);

Подъем труб тепловой сети на высоту осуществляется автокраном. При подаче краном элементов конструкций трубопроводов на высоту монтажники соблюдают требования по установке и перемещению грузов краном, изложенные в проекте производства работ (ППР) или технологической карте. В процессе монтажа трубопровода монтажники не должны находиться под опускаемым или поднимаемым грузом, а при работе с лебедкой - не направлять трос на барабане руками или ногами.

К строповке грузов осуществляют монтажники, имеющие удостоверение стропальщика (такелажника).

Строповка арматуры трубопроводов (вентилей, заглушек) осуществляется за их корпус. Расстроповку элементов трубопровода, установленного в проектное положение, производится после закрепления их в соответствии с проектом.

Монтируемая тепловая сеть пересекает 2 участка автодороги и при работе в местах их пересечения, должны быть применены ограждения с дорожным знаком «Проезд запрещен, ведутся работы!», светящимся красным фонарем.

Работы по монтажу тепловой сети ведутся на высоте более 4 м на лесах без ограждений, поэтому монтажники работают с использованием предохранительных поясов, которые следует закреплять в местах, указанных руководителем.

При совместной работе монтажников и электросварщика во время сварки труб для защиты глаз монтажники применяют специально предназначенные защитные очки или щитки с затемненными стеклами.

После укладки трубопроводов тепловой сети на опоры и их соединения посредством сварки, они должны быть обработаны антикоррозионным покрытием. В качестве антикоррозионного покрытия используется мастика. Ведро с горячей мастикой на высоту подаются по вертикальному коробу с помощью прочных веревок.

После обработки антикоррозионным покрытием трубы теплоизолируются минеральной ватой и оцинкованной сталью.

После опрессовки тепловой сети она готова к работе.

По окончании работы монтажники складывают в отведенное для хранения место применяемые в процессе работы грузозахватные приспособления, технологическую оснастку, очищают от грязи, промывают и убирают инструмент и мелкие детали в места, предназначенные для их хранения, складывают аккуратно материалы и элементы строительных конструкций, сообщают руководителю работ или бригадиру обо всех неполадках, возникших во время монтажа конструкций трубопровода.

4.2.Расчеты устойчивости грузоподъемных механизмов при укладке труб

Для подъема труб тепловой сети на опоры на высоту 4 м, с массой не более 10т используем кран СМК-10, характеристики которого приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Параметры стрелового крана СМК-10

№	Параметры и показатели	Значения
1	Наибольший вылет крана, м	8
2	Наибольшая высота подъема, м	8,9
3	Наибольший вес поднимаемого груза на наименьшем вылете, кН	100
4	$R_{н.б.}/R_{н.м.}$	2,48
5	База выносных опор, м: Поперечная k' , м Продольная B' , м	4,4 4,02
6	Радиус хвостовой части $r_{хв.}$, м	2,4
7	Колея K , м База B , м	1,9 3,85
8	Габариты поворотной платформы: Длина $l_{пл.}$, м Ширина $b_{пл.}$, м Высота $h_{пл.}$, м	2,8 2,5 1,0
9	Расстояние от земли до оси пяты стрелы y , м	2,4
10	Координаты оси вращения x , м	2,2
11	Вес крана $G_{кр.}$, кН	145
12	Вес опорной части G_0 , кН	65
13	Параметры стрелового устройства, м A D B E R_0	0 1,1 1,7 1,5 0,6

После определения основных параметров крана проверим его грузовую устойчивость.

Грузовая устойчивость рассчитывается при работе крана с грузом на максимальном вылете, при стреле, перпендикулярной ребру опрокидывания

(продольной оси крана). При этом уклон местности и ветровая нагрузка рабочего состояния способствуют опрокидыванию крана. Учитывается возможность совмещения операций подъема и опускания груза с поворотом крана.

При расчете грузовой устойчивости должно выполняться условие [2]:

$$k_{гр} = (M_G - \sum M_{ин} - \sum M_v) / M_{гр} \geq 1,15$$

где $k_{гр}$ - коэффициент грузовой устойчивости;

M_G - момент, создаваемый весом частей крана и противовеса относительно ребра опрокидывания;

$\sum M_{ин}$ - суммарный момент сил инерции элементов крана и груза при вращении крана и торможении опускаемого груза;

$\sum M_v$ - суммарный момент, создаваемый ветровой нагрузкой рабочего состояния, действующей перпендикулярно ребру опрокидывания и параллельно плоскости, на которой работает кран, на подветренную площадь крана и груза;

$M_{гр}$ - момент, создаваемый весом номинального груза относительно ребра опрокидывания.

Для дальнейших расчетов требуется построить расчетную схему. Схема для расчета грузовой устойчивости крана приведена на рисунке 8.

Определяются веса составных частей крана.

а) вес стрелы G_c , кН

$$G_c = g_c \cdot L_c,$$

где $g_c = 1$ кН/м - погонный вес стрелы.

Тогда

$$G_c = 1 \cdot 8,2 = 8,2 \text{ кН}.$$

б) вес поворотной части $G_{п}$, кН, рассчитывается по формуле

$$G_{п} = G_{кр} - (G_c + G_0 + G_{пр}),$$

где G_0 - вес опорной части крана.

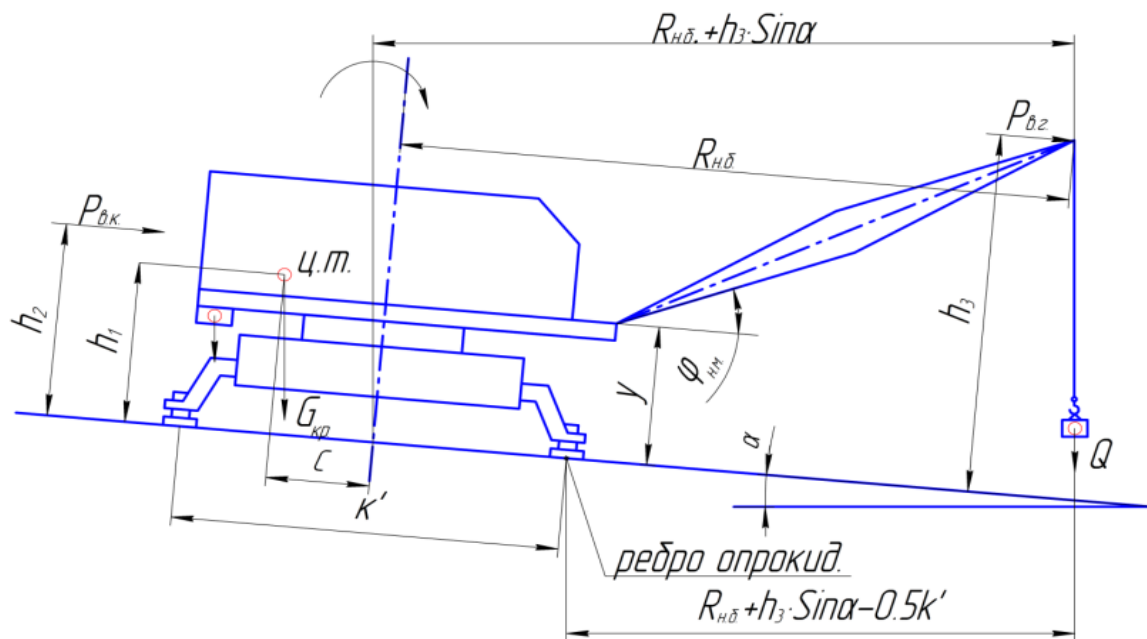


Рисунок 8 - Схема для расчета грузовой устойчивости крана

Значения G_0 , $G_{кр}$, назначаются из таблицы 9.

Тогда

$$G_{п} = 145 - (8,8 + 0 + 65) = 71,8 \text{ кН}.$$

Определяется абсцисса «С», м., центра тяжести поворотной части без груза относительно оси вращения (рисунок 1) по формуле:

$$C = (G_c \cdot (R_0 + 0,5l_c \cdot \cos \varphi_{н.м.}) - G_{п} \cdot a_{п} - G_{пр} \cdot a_{пр}) / G_{кр},$$

где $\varphi_{н.м.}$ - угол наклона стрелы к горизонту на максимальном вылете.

Значение косинуса угла наклона стрелы к горизонту на максимальном вылете находится по формуле

$$\cos \varphi_{н.м.} = (R_{н.б.} - R_0) / l_c.$$

Тогда

$$\cos \varphi_{н.м.} = (8 - 0,6) / 8,2 = 0,9.$$

Находим расстояние от оси вращения до центр тяжести поворотной части по формуле:

$$a_{п} = 0,5 \cdot \rho \cdot k',$$

где $\rho \approx (0,8-0,9)$ - для автомобильных кранов,

$$k' = 4,4 \text{ м.}$$

Тогда

$$a_{\pi} = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 4,4 = 1,76 \text{ м.}$$

По формуле (2) получим:

$$C = 8,2 \cdot (0,6 + 0,5 \cdot 8,2 \cdot 0,9) - 71,8 \cdot 1,76 / 145 = -0,842 \text{ м.}$$

Ордината центра тяжести h_1 , м, крана без груза относительно опорной поверхности находится по формуле

$$h_1 = G_c \cdot (y + 0,5 \cdot l_c \cdot \sin \varphi_{\text{н.м.}}) + G_{\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}} + G_0 \cdot h_0 + G_{\pi} \cdot h_{\pi} / G_{\text{кр}},$$

где $y=2,4$ м;

$$h_{\pi} = (2 \dots 3,5) \cdot h_0 \text{ м;}$$

$$h_0 = (0,62 \dots 1,0) \text{ м.}$$

Тогда

$$h_{\pi} = 2 \cdot 1 = 2 \text{ м.}$$

По формуле (4) получим

$$h_1 = (8,2(2,4 + 0,5 \cdot 8,2 \cdot 0,438) + 65 \cdot 1 + 71,8 \cdot 2) / 145 = 1,68 \text{ м.}$$

Определяется опрокидывающий момент $M_{\text{гр.}}$, кН*м, создаваемый весом груза относительно ребра опрокидывания [2]:

$$M_{\text{гр}} = Q_{\text{н.м.}} \cdot ((R_{\text{н.б.}} + h_3 \cdot \sin \alpha) - 0,5k')$$

где $h_3 = y + l_c \cdot \sin \varphi_{\text{н.м.}}$;

$\alpha = 1,5^\circ$ -для автомобильных кранов при работе с выносными опорами.

Тогда

$$h_3 = 2,4 + 8,2 \cdot 0,438 = 5,99 \text{ м.}$$

В формулу (4) подставляем известные величины

$$M_{\text{гр}} = 25,3 \cdot ((8,2 + 5,99 \cdot \sin 1,5^\circ) - 0,5 \cdot 4,4) = 150,28 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Определяется удерживающий момент M_G , кН*м, от веса частей крана и противовеса относительно того же ребра по формуле [2]:

$$M_G = G_{\text{кр}} \cdot ((0,5 \cdot k' \pm C) - h_1 \cdot \sin \alpha) \text{ кН} \cdot \text{м}$$

знак минус подставляется при положительном значении «С».

Следовательно,

$$M_G = 145 \cdot ((0,5 \cdot 4,4 - 0,64) - 1,67 \cdot \sin 1,5^\circ) = 22 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Определяется опрокидывающий суммарный момент от сил инерции при вращении и торможении груза $\sum M_{ин}$, кН*м, по формуле

$$\sum M_{ин} = \frac{Q_{н.м.} \cdot n^2 \cdot R_{н.б.} \cdot h_3}{900 - n^2 \cdot h_3 / \sin \alpha} + \frac{Q_{н.м.} \cdot \vartheta_{гр} \cdot ((R_{н.б.} + h_3 \cdot \sin \alpha) - 0,5k')}{10 \cdot t},$$

где n - частота вращения крана, об/мин;

$\alpha_{гр}$ - скорость подъема груза, м/с;

$t = (1 \dots 2)$ с - время пуска подъема груза.

Тогда

$$\begin{aligned} \sum M_{ин} &= \frac{25,3 \cdot 0,91^2 \cdot 8 \cdot 5,99}{900 - 0,91^2 \cdot 5,99 / \sin 1,5^\circ} \\ &+ \frac{25,3 \cdot 0,12 \cdot ((8 + 5,99 \cdot \sin 1,5^\circ) - 0,5 \cdot 4,4)}{10 \cdot 1,5} = 2,657 \text{ кН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Определяется опрокидывающий момент $\sum M_B$, кН*м, от ветра рабочего состояния по формуле [2]:

$$\sum M_B = M_B^{гр} + M_B^{кр},$$

где $M_B^{гр}$ - момент от действия ветра на груз;

$M_B^{кр} = M_B^{пл} + M_B^c$ - момент от действия ветра на кран;

$M_B^{пл}$ - момент от действия ветра на поворотную часть крана;

M_B^c - момент от действия ветра на стрелу.

В свою очередь [2]

$$M_B^{гр} = q_{в.р.} \cdot c \cdot n \cdot F_{г.} \cdot k_c \cdot h_3,$$

где $q_{в.р.} = 125$ мПа - давление ветра рабочего состояния по ГОСТ1451-77 на высоте до 10 метров над поверхностью земли;

c - коэффициент динамики аэродинамической силы;

$n=1$ - коэффициент изменения динамического давления ветра по высоте;

F_{Γ} - наветренная площадь груза, м^2 , в зависимости от максимальной грузоподъемности определяется по таблице 2 [2];

$k_c = (0,3 \div 0,4)$ - коэффициент сплошности для решетчатых конструкций. Для листовых $k_c = 1$.

Таблица 10 - Зависимость наветренной площади груза в зависимости от веса

$Q, \text{кН}$	32	50	63	100	160	200	250
$F_{\Gamma}, \text{м}$	5,6	7,1	8,0	10	14	16	18

Тогда, по формуле

$$M_B^{\Gamma P} = 0,125 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 5,1 \cdot 1 \cdot 5,99 = 4,58 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

При определении давления ветра на груз последний рассматривается поднятым в крайнее верхнее положение, т.е. на высоту $H_{\text{н.м.}}$, а сила ветра приложена в точке его подвеса на высоте h_3 , согласно рисунку 1. Тогда момент от действия ветра на поворотную платформу $M_B^{\text{пл}}$, $\text{кН} \cdot \text{м}$, находится по формуле [2]:

$$M_B^{\text{пл}} = q_{\text{в.р.}} \cdot c \cdot n \cdot F_{\text{пл}} \cdot k_c \cdot h_2, \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где $q_{\text{в.р.}} = 0,125 \text{ Па.};$

$$c = 1,2;$$

$$k_c = 1.$$

На основании данных таблицы 1, находим наветренную площадь поворотной платформы:

$$F_{\text{пл.}} = h_{\text{пл.}} \cdot b_{\text{пл.}} = 1 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ м}^2.$$

При $h_2 \leq 10 \text{ м}$, коэффициент $n = 1$.

По данным таблицы 1 находим h_2 :

$$h_2 = h_{\text{пл.}}/2 + y = 1/2 + 2,4 = 2,9 \text{ м}.$$

По вышеперечисленным данным вычисляется формула

$$M_B^{\text{пл}} = 0,125 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 2,9 = 1,08 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Для определения величины M_B^c стрела, начиная с уровня земли, рассекается через каждые десять метров.

Момент от ветра на каждый участок, кН*м, находится по формуле

$$M_B^c = q_{в.р.} \cdot c \cdot n \cdot v_c \cdot l_{уч}^c \cdot \sin \varphi \cdot k_c \cdot h_{уч},,$$

где l_c - длина основной стрелы без вставок, м;

$h_{уч.}$ - высота центра площади каждого участка от уровня земли, м;

$l_{уч}^c$ - длина участка стрелы, м.

$v_c \approx (v_{корн.} + v_{верш.})/2$ - средняя ширина стрелы в плане;

$v_{корн.} = (0,1)l_c = 0,1 \cdot 8,2 = 0,82$ м. - ширина корневой части стрелы;

$v_{верш.} = (0,05) \cdot l_c = 0,05 \cdot 8,2 = 0,41$ м. - ширина стрелы в вершине;

следовательно

$$v_c \approx (0,82 + 0,41)/2 = 0,615 \text{ м.}$$

Тогда получим

$$M_B^c = 0,125 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 0,615 \cdot 8,2 \cdot 0,438 \cdot 1 \cdot 3,92 = 1,299 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Момент от действия ветра на кран

$$M_B^{кр} = M_B^c + M_B^{пл}$$

подставив полученные значения получим

$$M_B^{кр} = 0,45 + 1,299 = 1,749 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Теперь зная все необходимые величины, определим опрокидывающий момент $\sum M_B$, от ветра в рабочем состоянии

$$\sum M_B = 4,33 + 1,749 = 6,079 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Грузовая устойчивость, на основании вышеперечисленных вычислений, равна

$$k_{гр} = (221 - 2,657 - 6,079)/150,21 = 1,41 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

По условию грузовой устойчивости $k_{гр} \geq 1,15$, проверяем полученное значение

$$k_{гр} = 1,41 \geq 1,15.$$

$$k_{гр} = (M_G - \sum M_{ин} - \sum M_B)/M_{гр} \geq 1,15,$$

$$k_{гр} = (221 - 2,657 - 6,079)/150,21 = 1,41 \text{ кН} \cdot \text{м} \geq 1,15$$

Условие грузовой устойчивости выполняется.

4.3. Средства коллективной и индивидуальной защиты от вредных и опасных производственных факторов

Для предупреждения воздействия на работающих опасных и вредных производственных факторов, возникающих при монтаже строительных конструкций, применяют средства коллективной и индивидуальной защиты (ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ) [3].

Средства коллективной защиты.

При монтаже трубопроводов на строительной площадке в основном применяются защитные и сигнальные ограждения. Защитные ограждения для участков производства работ и опасных зон применяют панельные. Высота ограждения не менее 1,2 м. Стойки инвентарных ограждений чаще всего изготовлены из труб.

Для предотвращения падения монтажников с высоты (они работают на строительных лесах) применяются защитные ограждения в соответствии с ГОСТ 12.4.059—78 [4]. Высота таких защитных ограждений должна быть не менее 1,1 м. Расстояние между горизонтальными элементами ограждения не более 0,45 м. Защитные ограждения очень часто устанавливают вручную, поэтому каждый разборный элемент должен иметь массу не более 20 кг. Ограждения надежно закрепляют к ранее установленным конструкциям зданий и сооружений.

К средствам коллективной защиты, создающим безопасные условия работ, относится освещение строительных площадок и рабочих мест. В соответствии с СН 81-80 [5] электрическое освещение подразделяется на рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное.

Рабочее освещение предусматривается для площадки строительства и осуществляется прожекторами размещенными по периметру стройплощадки депо, так как работы выполняются и в темное время суток.

Аварийное освещение не предусматривается так как, в производстве работ недопустимы.

Эвакуационное освещение предусматривается в местах основных путей эвакуации рабочих и составляет 0,2 лк.

Средства индивидуальной защиты.

Для защиты тела рабочих производящих монтаж труб применяются спецодежда и спецобувь: комбинезоны и сапоги. Защита рук работающих обеспечивается рукавицами.

Все лица, находящиеся на территории строительно-монтажной площадки, должны носить защитные каски. Каски предназначены для защиты головы работающих от механических повреждений, от воздействия влаги, от поражения электрическим током.

Так как монтажники работают совместно с электросварщиками ими используются защитные очки для защиты глаз от попадания инородных частиц или воздействия вредного излучения.

Так как монтажники работают на высоте, ими используются предохранительные пояса, обеспечивающие защиту в случае падения с высоты.

Результаты исследования

В данной работе проведен расчет перевода системы теплоснабжения здания депо с электрического на водяное.

В результате расчета была рассчитана система отопления здания депо, были подобраны приборы отопления и теплообменники индивидуального теплового пункта. Система отопления спроектирована комбинированная включающая себя дежурное водяное отопление радиаторами и лучистое панельное.

Проект разработан для дальнейшего его использования, так как внедрение данного проекта позволит сэкономить деньги и является экономически эффективным для бюджета предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках дипломного проекта для выполнения проекта эффективного комбинированного теплоснабжения моторвагонного депо было выполнено следующее:

- рассчитаны потери теплоты здания цеха с учётом его функционального назначения и санитарно-гигиенических требований;
- для дежурного отопления помещений депо выбрана водяная двухтрубная система с нижней разводкой трубопроводов и чугунными радиаторами;
- произведён гидравлический расчёт водяной системы отопления;
- для основного отопления и вентиляции помещения депо рассчитана комбинированная система лучистого отопления и вентиляции с теплоносителем водой температурой 130-70⁰С;
- рассчитаны и выбраны воздушно-тепловые завесы;
- выполнен расчет теплообменных аппаратов ИТП;
- выбрана схема автоматизации ИТП.

В разделе охрана труда рассмотрены организационно-технические мероприятия по охране труда при монтаже системы теплоснабжения.

В рамках данного раздела мной было выполнено:

- проведен анализ условий труда монтажников при наружной прокладке труб тепловой сети. Монтажники наружных трубопроводов при производстве работ согласно имеющейся квалификации обязаны выполнять требования безопасности, изложенные в «Типовой инструкция по охране труда для монтажников наружных трубопроводов» ТОИ Р-66-15-93*;
- выполнен расчет устойчивости самоходного крана СМК-10, используемого для подъёма труб теплосети на опоры. Условие грузовой устойчивости выполняется ($k_{гр} = 1,41 \geq 1,15$);
- рассмотрены средства коллективной и индивидуальной защиты от вредных и опасных производственных факторов при монтаже теплосети. В

качестве коллективных средств защиты применяются защитные ограждения и освещение. В качестве индивидуальных средств защиты монтажниками используются комбинезоны, сапоги, рукавицы, защитные очки, защитные каски и предохранительные пояса.

Список использованной литературы

1. «Типовая инструкция по охране труда для монтажников наружных трубопроводов» ТОИ Р-66-15-93*.
2. Вайнсон А.А. Подъёмно-транспортные машины строительной промышленности: Атлас конструкций.-2-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1976г.-151с.:ил.
3. ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ «Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов».
4. ГОСТ 12.4.059—78 «Система стандартов безопасности труда. Строительство. Ограждения предохранительные инвентарные».
5. СН 81-80 «Инструкция по проектированию электрического освещения строительных площадок».
6. Строительные нормы и правила. ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ. СНиП 23-02-2003. М.: Госстрой России, 2004.
7. Строительные нормы и правила. ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ. СНиП 41-01-2003. М.: Госстрой России, 2004.
8. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: Учеб. для вузов.- М.: Стройиздат, 1991. 735 с.
9. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. пособие/Л.Д.Богуславский, В.И.Ливчак, В.П.Титов и др.; Под ред. Л.Д.Богуславского и В.И.Ливчака.- М.: Стройиздат, 1990.- 624 с.
10. Строительные нормы и правила. ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ. СНиП 41-01-2003. М.: Госстрой России. 2003.
11. Система нормативных документов в строительстве. СВОДЫ ПРАВИЛ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ. СП 41-101-95. М.: 1996.

12. К вопросу о расчете воздушных завес. «Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика», АВОК № 7, 2003 г., стр. 58-64.

13. Строительные нормы и правила. МАГИСТРАЛЬНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ. СНиП 2.05.06-85*. М.: Изд-во ГУП ЦПП, 2003 – 60 с.

Таблица 1. Расчет теплотерь помещений через ограждающие конструкции

№ помещ.	Помещение и температура град. С	Наруж темпе-	Стор . света	Ограждение	L	Размер ограждения		Площадь поверхн. огражд. кв. м	Разность температур град.С	Коэфф. теплопередачи Вт/кв. м*С	Поправ. коэф-т на разн. темп. р.	Потери тепла Вт	Добавки к теплотерям в % от основных потерь				Всего добавок	Общие потери
						Н м	Кол ич.						На ст. света	На вет ер	Ин ф. воз д.	Др.,на угл.пом-е		
																	Вт	Вт
1	18	-39	С	НС	24	8,5		204	57	1,323913		15394	10		0,09	5	2323	17717
цех	18	-39	З	НС	24	8,5		204	57	1,323913		15394	5		0,09	5	1553	16948
	18	-39	Ю	НС	24	8,5		204	57	1,323913		15394			0,09	5	784	16178
	18	-39	В	НС	24	8,5		204	57	1,323913		15394	10		0,09	5	2323	17717
	18	-39		потолок	24	84		2016	57	1,134783		130400				5	6520	136920
	18	-39	З	НД	5,8	5,6	2	64,96	57	2,2065		8170	5		0,032	5	820	8990
	18	-39	В	НД	5,8	5,6	2	64,96	57	2,2065		8170	10		0,032	5	1228	9398
	18	-39	Ю	ДО	5	2,4	3	36	57	2,5		5130				5	257	5387
	18	-39	С	ДО	5	2,4	3	36	57	2,5		5130	10			5	770	5900
	18	-39		пол 1з	2	96		192	57	0,476		5209				5	260	5470
	18	-39		пол 2з	2	96		192	57	0,233		2550				5	127	2677
	18	-39		пол 3з	2	96		192	57	0,116		1270				5	63	1333
	18	-39		пол 4з				1440	57	0,07		5746				5	287	6033
К	Qном	Lр приH=	500	Тип	22	Lккл =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b1=								1,06	Итого	276337
1,04	265708,7	139500	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b2=								1,04			
2	18	-39	С	НС	12	6		72	57	1,323913		5433	10		0,04	5	817	6251
	18	-39	З	НС	12	6		72	57	1,323913		5433	5		0,04	5	546	5979

	18	-39		потолок	12	12		144	57	1,13478 3		9314				5	466	9780
	18	-39	3	НД	5,8	3		17,4	57	2,2065		2188	5		0,03 2	5	220	2408
	18	-39	С	ДО	5	2,4	2	24	57	2,5		3420	10			5	513	3933
	18	-39		пол 1з	2	22		44	57	0,476		1194				5	60	1253
	18	-39		пол 2з	2	18		36	57	0,233		478				5	24	502
	18	-39		пол 3з	2	14		28	57	0,116		185				5	9	194
	18	-39		пол 4з	6	6		36	57	0,07		144				5	7	151
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lккл =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	33570
1,04	32278, 85	17000	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
3	18	-39	С	НС	12	6		72	57	1,32391 3		5433	10		0,04		546	5979
	18	-39	С	ДО	5	2,4	2	24	57	2,5		3420	10				342	3762
	18	-39		потолок	12	12		144	57	1,13478		9314					0	9314
	18	-39		пол 1з	2	12		24	57	0,476		651					0	651
	18	-39		пол 2з	2	12		24	57	0,233		319					0	319
	18	-39		пол 3з	2	12		24	57	0,116		159					0	159
	18	-39		пол 4з	6	12		72	57	0,07		287					0	287
								0	0			0					0	0
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lккл =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	22568
1,04	21700	11400	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
4	18	-39	С	НС	12	6		72	57	1,32391 3		5433	10		0,04		546	5979
	18	-39	С	ДО	5	2,4	2	24	57	2,5		3420	10				342	3762
	18	-39		потолок	12	12		144	57	1,13478		9314					0	9314
	18	-39		пол 1з	2	12		24	57	0,476		651					0	651
	18	-39		пол 2з	2	12		24	57	0,233		319					0	319
	18	-39		пол 3з	2	12		24	57	0,116		159					0	159
	18	-39		пол 4з	6	12		72	57	0,07		287					0	287
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lккл =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	22568
1,04	21700	11400	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		

5	18	-39	С	НС	24	6		144	57	1,32391		10867	10		0,04	5	1634	12501
	18	-39	В	НС	12	6		72	57	1,32391		5433	10		0,04	5	817	6250
	18	-39	С	ДО	5	2,4	3	36	57	2,5		5130	10			5	770	5900
	18	-39	В	НД	5,8	3	1	17,4	57	2,2065		2188	10			5	328	2517
	18	-39		потолок				252	57	1,13478 3		16300				5	815	17115
	18	-39		пол 1з	2	34		68	57	0,476		1845				5	92	1937
	18	-39		пол 2з	2	30		60	57	0,233		797				5	40	837
	18	-39		пол 3з	2	26		52	57	0,116		344				5	17	361
	18	-39		пол 4з				72	57	0,07		287				5	14	302
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкТЛ =	5000	Коефф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	52606
1,04	50582, 69	26600	Qфак =	9906	q=	1905	Коеффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
6	18	-39		потолок	5,2	4		20,8	57	1,13478 3		1345					0	1345
	18	-39		пол 4з	5,2	4		20,8	57	0,07		83					0	83
								0	0			0					0	0
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкТЛ =	5000	Коефф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	1575
1,04	1514,4 23	800	Qфак =	9906	q=	1905	Коеффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
7	18	-39		потолок	3,8	4		15,2	57	1,13478		983					0	983
	18	-39		пол 4з	3,8	4		15,2	57	0,07		61					0	61
								0	0			0					0	0
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкТЛ =	5000	Коефф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	1151
1,04	1106,7 31	600	Qфак =	9906	q=	1905	Коеффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
8	18	-39	3	НС	12	6		72	57	1,32391 3		5433	5		0,04	5	546	5979
	18	-39	Ю	НС	6	6		36	57	1,32391 3		2717			0,04	5	137	2854
	18	-39	3	НД	5,8	3		17,4	57	2,2065		2188	5			5	219	2407
	18	-39	Ю	ДО	5	2,4		12	57	2,5		1710				5	86	1796
	18	-39		потолок	12	6		72	57	1,13478 3		4657				5	233	4890
	18	-39		пол 1з	2	16		32	57	0,476		868				5	43	912
	18	-39		пол 2з	2	10		20	57	0,233		266				5	13	279

	18	-39		пол 3з	2	8		16	57	0,116		106				5	5	111
		-39						0	39			0					0	0
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкТЛ =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	21196
1,04	20380, 77	10700	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
9	18	-39	Ю	НС	6	6		36	57	1,32391		2717			0,04		1	2718
	18	-39	Ю	ДО	5	2,4		12	57	2,5		1710					0	1710
	18	-39		потолок	6	8		48	57	1,13478		3105					0	3105
	18	-39		пол 1з	2	6		12	57	0,476		326					0	326
	18	-39		пол 2з	2	6		12	57	0,233		159					0	159
	18	-39		пол 3з	2	6		12	57	0,116		79					0	79
	18	-39		пол 4з	2	6		12	57	0,07		48					0	48
								0	0			0					0	0
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкТЛ =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	8979
1,04	8633,6 54	4600	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
10	18	-39	Ю	НС	6	6		36	57	1,32391		2717			0,04		1	2718
	18	-39	Ю	ДО	5	2,4		12	57	2,5		1710					0	1710
	18	-39		потолок	6	8		48	57	1,13478		3105					0	3105
	18	-39		пол 1з	2	6		12	57	0,476		326					0	326
	18	-39		пол 2з	2	6		12	57	0,233		159					0	159
	18	-39		пол 3з	2	6		12	57	0,116		79					0	79
	18	-39		пол 4з	2	6		12	57	0,07		48					0	48
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкТЛ =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	8979
1,04	8633,6 54	4600	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
11	18	-39	Ю	НС	12	6		72	57	1,32391		5433			0,04		2	5435
	18	-39	Ю	ДО	5	2,4	2	24	57	2,5		3420					0	3420
	18	-39		потолок	12	8		96	57	1,13478		6210					0	6210
	18	-39		пол 1з	2	12		24	57	0,476		651					0	651
	18	-39		пол 2з	2	12		24	57	0,233		319					0	319
	18	-39		пол 3з	2	12		24	57	0,116		159					0	159
								0	0			0					0	0

К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкТЛ =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	17852
1,04	17165, 38	9100	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
12	18	-39	Ю	НС	6	6		36	57	1,32391		2717			0,04		1	2718
	18	-39	Ю	ДО	5	2,4		12	57	2,5		1710					0	1710
	18	-39		потолок	6	8		48	57	1,13478		3105					0	3105
	18	-39		пол 1з	2	6		12	57	0,476		326					0	326
	18	-39		пол 2з	2	6		12	57	0,233		159					0	159
	18	-39		пол 3з	2	6		12	57	0,116		79					0	79
	18	-39		пол 4з	2	6		12	57	0,07		48					0	48
								0	0			0					0	0
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкТЛ =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	8979
1,04	8633,6 54	4600	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
13	18	-39	Ю	НС	6	6		36	57	1,32391		2717			0,04		1	2718
	18	-39	Ю	НД	5	3		15	57	2,2065		1887					0	1887
	18	-39		потолок	6	8		48	57	1,13478		3105					0	3105
	18	-39		пол 1з	2	6		12	57	0,476		326					0	326
	18	-39		пол 2з	2	6		12	57	0,233		159					0	159
	18	-39		пол 3з	2	6		12	57	0,116		79					0	79
	18	-39		пол 4з	2	6		12	57	0,07		48					0	48
								0	0			0					0	0
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкТЛ =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	9174
1,04	8821,1 54	4700	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
14	18	-39	Ю	НС	6	6		36	57	1,32391		2717			0,04		1	2718
	18	-39	Ю	ДО	5	2,4		12	57	2,5		1710					0	1710
	18	-39		потолок	6	8		48	57	1,13478		3105					0	3105
	18	-39		пол 1з	2	6		12	57	0,476		326					0	326
	18	-39		пол 2з	2	6		12	57	0,233		159					0	159
	18	-39		пол 3з	2	6		12	57	0,116		79					0	79
	18	-39		пол 4з	2	6		12	57	0,07		48					0	48
								0	0			0					0	0

К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	ЛкТЛ =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	8979
1,04	8633,6 54	4600	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =								1,04			
15	18	-39	Ю	НС	12	6		72	57	1,32391 3		5433			0,04	5	274	5707
	18	-39	В	НС	12	6		72	57	1,32391 3		5433	10		0,04	5	817	6251
	18	-39	Ю	ДО	5	2,4	1	12	57	2,5		1710				5	86	1796
	18	-39	В	НД	5,8	3	1	17,4	57	2,2065		2188	10			5	328	2517
	18	-39		потолок	12	12		144	57	1,13478 3		9314				5	466	9780
	18	-39		пол 1з	2	22		44	57	0,476		1194				5	60	1253
	18	-39		пол 2з	2	18		36	57	0,233		478				5	24	502
	18	-39		пол 3з	2	14		28	57	0,116		185				5	9	194
	18	-39		пол 4з	6	6		36	57	0,07		144				5	7	151
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	ЛкТЛ =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	31034
1,04	29840, 38	15700	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =								1,04			
16	18	-39		потолок	42	4		168	57	1,13478 3		10867					0	10867
	18	-39		пол 4з	42	4		168	57	0,07		670					0	670
								0	0			0					0	0
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	ЛкТЛ =	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	12719
1,04	12229, 81	6500	Qфак =	9906	q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =								1,04			
Расчётный тепловой поток, Вт																		415505

Таблица 2. Расчет теплопотерь помещений. Дежурное отопление

№ по-мещ.	Помещение и температура град. С		Стор. света	Ограждение	L	Размер ограждения		Площадь поверхности огражд. кв. м	Разность температур град.С	Коэфф. теплопередачи Вт/кв.м* С	Поправ. коэф. -т на разн. темпер.	Потери тепла Вт	Добавки к теплопотерям в % от основных потерь				Всего добавок Вт	Общие потери Вт
						Н м	Кол. ич.						Наст. света	Наветер	Инф. возд.	Др.		
2	5	-39	С	НС	12	6		72	44	1,323913		4194	10		0,04	5	631	4825
	5	-39	3	НС	12	6		72	44	1,323913		4194	5		0,04	5	421	4615
	5	-39		потолок	12	12		144	44	1,134783		7190				5	359	7549
	5	-39	3	НД	5,8	3		17,4	44	2,2065		1689	5		0,032	5	169	1859
	5	-39	С	ДО	5	2,4	2	24	44	2,5		2640	10			5	396	3036
	5	-39		пол 1з	2	22		44	44	0,476		922				5	46	968
	5	-39		пол 2з	2	18		36	44	0,233		369				5	18	388
	5	-39		пол 3з	2	14		28	44	0,116		143				5	7	150
	5	-39		пол 4з	6	6		36	44	0,07		111				5	6	116
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкT л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	25914
инос					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04		
3	5	-39	С	НС	12	6		72	44	1,323913		4194	10		0,04		421	4615
	5	-39	С	ДО	5	2,4	2	24	44	2,5		2640	10				264	2904
	5	-39		потолок	12	12		144	44	1,13478		7190					0	7190
	5	-39		пол 1з	2	12		24	44	0,476		503					0	503
	5	-39		пол 2з	2	12		24	44	0,233		246					0	246
	5	-39		пол 3з	2	12		24	44	0,116		122					0	122
	5	-39		пол 4з	6	12		72	44	0,07		222					0	222
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	LкT л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итого	17421

ино е					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04			
4	5	-39	С	НС	12	6		72	44	1,323913		4194	10		0,04		421	4615	
	5	-39	С	ДО	5	2,4	2	24	44	2,5		2640	10				264	2904	
	5	-39		потоло к	12	12		144	44	1,13478		7190					0	7190	
	5	-39		пол 1з	2	12		24	44	0,476		503					0	503	
	5	-39		пол 2з	2	12		24	44	0,233		246					0	246	
	5	-39		пол 3з	2	12		24	44	0,116		122					0	122	
	5	-39		пол 4з	6	12		72	44	0,07		222					0	222	
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lкт л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =									1,06	Итог о	17421
ино е					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04			
5	5	-39	С	НС	24	6		144	44	1,32391		8388	10		0,04	5	1262	9650	
	5	-39	В	НС	12	6		72	44	1,32391		4194	10		0,04	5	631	4825	
	5	-39	С	ДО	5	2,4	3	36	44	2,5		3960	10			5	594	4554	
	5	-39	В	НД	5,8	3	1	17,4	44	2,2065		1689	10			5	253	1943	
	5	-39		потоло к	24	12		288	44	1,134783		14380				5	719	15099	
	5	-39		пол 1з	2	34		68	44	0,476		1424				5	71	1495	
	5	-39		пол 2з	2	30		60	44	0,233		615				5	31	646	
	5	-39		пол 3з	2	26		52	44	0,116		265				5	13	279	
	5	-39		пол 4з	18	6		108	44	0,07		333				5	17	349	
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lкт л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =									1,06	Итог о	42817
ино е					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =									1,04			
8	5	-39	3	НС	12	6		72	44	1,323913		4194	5		0,04	5	421	4615	
	5	-39	Ю	НС	6	6		36	44	1,323913		2097			0,04	5	106	2203	
	5	-39	3	НД	5,8	3		17,4	44	2,2065		1689	5			5	169	1858	
	5	-39	Ю	ДО	5	2,4		12	44	2,5		1320				5	66	1386	
	5	-39		потоло к	12	6		72	44	1,134783		3595				5	180	3775	
	5	-39		пол 1з	2	16		32	44	0,476		670				5	34	704	
	5	-39		пол 2з	2	10		20	44	0,233		205				5	10	215	
	5	-39		пол 3з	2	8		16	44	0,116		82				5	4	86	
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lкт л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =									1,06	Итог о	16362

ино е					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =								1,04			
9	5	-39	Ю	НС	6	6		36	44	1,32391		2097			0,04		1	2098
	5	-39	Ю	ДО	5	2,4		12	44	2,5		1320					0	1320
	5	-39		потоло к	6	12		72	44	1,13478		3595					0	3595
	5	-39		пол 1з	2	6		12	44	0,476		251					0	251
	5	-39		пол 2з	2	6		12	44	0,233		123					0	123
	5	-39		пол 3з	2	6		12	44	0,116		61					0	61
	5	-39		пол 4з	6	6		36	44	0,07		111					0	111
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lкт л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итог о	8334
ино е					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =								1,04			
10	5	-39	Ю	НС	6	6		36	44	1,32391		2097			0,04		1	2098
	5	-39	Ю	ДО	5	2,4		12	44	2,5		1320					0	1320
	5	-39		потоло к	6	12		72	44	1,13478		3595					0	3595
	5	-39		пол 1з	2	6		12	44	0,476		251					0	251
	5	-39		пол 2з	2	6		12	44	0,233		123					0	123
	5	-39		пол 3з	2	6		12	44	0,116		61					0	61
	5	-39		пол 4з	6	6		36	44	0,07		111					0	111
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lкт л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итог о	8334
ино е					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =								1,04			
11	5	-39	Ю	НС	12	6		72	44	1,32391		4194			0,04		2	4196
	5	-39	Ю	ДО	5	2,4	2	24	44	2,5		2640					0	2640
	5	-39		потоло к	12	12		144	44	1,13478		7190					0	7190
	5	-39		пол 1з	2	12		24	44	0,476		503					0	503
	5	-39		пол 2з	2	12		24	44	0,233		246					0	246
	5	-39		пол 3з	2	12		24	44	0,116		122					0	122
	5	-39		пол 4з	6	12		72	44	0,07		222					0	222
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lкт л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итог о	16667
ино е					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =								1,04			
12	5	-39	Ю	НС	6	6		36	44	1,32391		2097			0,04		1	2098

	5	-39	Ю	ДО	5	2,4		12	44	2,5		1320				0	1320	
	5	-39		потолок	6	12		72	44	1,13478		3595				0	3595	
	5	-39		пол 1з	2	6		12	44	0,476		251				0	251	
	5	-39		пол 2з	2	6		12	44	0,233		123				0	123	
	5	-39		пол 3з	2	6		12	44	0,116		61				0	61	
	5	-39		пол 4з	6	6		36	44	0,07		111				0	111	
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lкт л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итог о	8334
ино е					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =								1,04			
14	5	-39	Ю	НС	6	6		36	44	1,32391		2097			0,04	1	2098	
	5	-39	Ю	ДО	5	2,4		12	44	2,5		1320				0	1320	
	5	-39		потолок	6	12		72	44	1,13478		3595				0	3595	
	5	-39		пол 1з	2	6		12	44	0,476		251				0	251	
	5	-39		пол 2з	2	6		12	44	0,233		123				0	123	
	5	-39		пол 3з	2	6		12	44	0,116		61				0	61	
	5	-39		пол 4з	6	6		36	44	0,07		111				0	111	
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lкт л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итог о	8334
ино е					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =								1,04			
15	5	-39	Ю	НС	12	6		72	44	1,323913		4194			0,04	5	211	4406
	5	-39	В	НС	12	6		72	44	1,323913		4194	10		0,04	5	631	4825
	5	-39	Ю	ДО	5	2,4	1	12	44	2,5		1320				5	66	1386
	5	-39	В	НД	5,8	3	1	17,4	44	2,2065		1689	10			5	253	1943
	5	-39		потолок	12	12		144	44	1,134783		7190				5	359	7549
	5	-39		пол 1з	2	22		44	44	0,476		922				5	46	968
	5	-39		пол 2з	2	18		36	44	0,233		369				5	18	388
	5	-39		пол 3з	2	14		28	44	0,116		143				5	7	150
	5	-39		пол 4з	6	6		36	44	0,07		111				5	6	116
К	Qном	Lp приH=	500	Тип	22	Lкт л=	5000	Коэфф. учёта доп. тепл. потока за счёт округления по номенкл. ряду, b ₁ =								1,06	Итог о	23956
ино е					q=	1905	Коэффициент дополнительных потерь радиаторами у наружных ограждений, b ₂ =								1,04			
Расчётный тепловой поток, Вт																	136609	

Таблица 3. Тепловой расчет радиаторов

№ пом.	Тепло- вая нагрузка, Вт	Температура воды в прямой линии, С	Температура воды в обратной линии, С	Средняя температура воды, С	Расход воды через радиатор, кг/ч	Плотность теплого потока радиатора, Вт/м3	Длина горизонтальных труб, м	Длина вертикальных труб, м	Бета труб	Бета 4	Теплоот- дача труб, Вт	Расчётная площадь радиатора, м2	Число сек- ций ради- атора расчётное	Число сек- ций ради- атора итоговое, всего	Число секций на каждый радиатор	Число ради- аторов	Нагрузка на каждый радиатор
2	18257	95	70	82,5	627,448	997,6735	24,8	1,6	0,9	1	3000,8	15,59256	65,99008	66	33	2	9128,5
3	12274	95	70	82,5	421,827	966,4802	24,8	1,6	0,9	1	3000,8	9,905304	41,65693	42	21	2	6137
4	12274	95	70	82,5	421,827	966,4802	24,8	1,6	0,9	1	3000,8	9,905304	41,65693	42	21	2	6137
5	30167	95	70	82,5	1036,77	1038,572	37,2	2,4	0,9	1	4501,2	25,14599	106,8695	107	36	3	10055,7
8	11528	95	70	82,5	396,189	961,6441	12,4	0,8	0,9	1	1500,4	10,58358	44,55872	45	45	1	11528
9	5872	95	70	82,5	201,806	911,1229	12,4	0,8	0,9	1	1500,4	4,962712	20,51817	23	23	1	5872
10	5872	95	70	82,5	201,806	911,1229	12,4	0,8	0,9	1	1500,4	4,962712	20,51817	23	23	1	5872
11	11743	95	70	82,5	403,578	963,0667	24,8	1,6	0,9	1	3000,8	9,389048	39,44838	39	20	2	5871,5
12	5872	95	70	82,5	201,806	911,1229	12,4	0,8	0,9	1	1500,4	4,962712	20,51817	23	23	1	5872
14	5872	95	70	82,5	201,806	911,1229	12,4	0,8	0,9	1	1500,4	4,962712	20,51817	23	23	1	5872
15	16878	95	70	82,5	580,055	991,4247	24,8	1,6	0,9	1	3000,8	14,29991	60,4591	60	30	2	8439

Приложение 4.1

Таблица 4.1. Результаты гидравлического расчёта основного циркуляционного кольца

26200										
№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	Dy, мм	w, м/с	Rl, Па	ζ	Z, Па	Rl+Z, Па	R, Па/м
1	145424	5356,55	2	50	0,7627576	334,165956	2	555,618	889,784	444,892067
2	67744	2495,28	57	50	0,3553213	2153,5526	13	783,717	2937,27	51,5310467
3	58760,5	2164,38	6	40	0,4815662	539,798006	1	110,735	650,533	108,422184
4	49526	1824,24	6	40	0,4058857	387,453911	1	78,6649	466,119	77,6864637
5	43526	1603,24	27	40	0,3567132	1358,49273	10	607,592	1966,08	72,8179424
6	37275	1372,99	6	32	0,4773184	701,280747	1	108,79	810,071	135,011821
7	31024	1142,74	6	32	0,3972723	491,283572	1	75,3616	566,645	94,4408578
8	24773	912,489	6	25	0,5197435	1126,74331	1	128,989	1255,73	209,288659
9	18522	682,24	6	25	0,388596	640,911768	1	72,1058	713,018	118,836256
10	12272	452,027	15	20	0,4022961	2264,547	16,6	1282,84	3547,39	236,492585
11	18522	682,24	6	25	0,388596	640,911768	1	72,1058	713,018	118,836256
12	24773	912,489	6	25	0,5197435	1126,74331	1	128,989	1255,73	209,288659
13	31024	1142,74	6	32	0,3972723	491,283572	1	75,3616	566,645	94,4408578
14	37275	1372,99	6	32	0,4773184	701,280747	1	108,79	810,071	135,011821
15	43526	1603,24	27	40	0,3567132	1358,49273	13	789,869	2148,36	79,5689615
16	49777	1833,49	6	40	0,4079427	391,263792	1	79,4642	470,728	78,454673
17	58760,5	2164,38	6	40	0,4815662	539,798006	1	110,735	650,533	108,422184
18	67744	2495,28	60	50	0,3553213	2266,89747	16	964,575	3231,47	53,857872
19	145424	5356,55	2	50	0,7627576	334,165956	2	555,618	889,784	444,892067

262

24539 Па

Сопротивление кольца		
Запас давления	в долях	в процентах
	0,0676886	6,76886226
(26200-24538,99)/26200=0,06769=6,769%		

Приложение 4.2

Таблица 4.2. Результаты гидравлического расчёта вспомогательного
циркуляционного кольца

24539

№	Q, Вт	G, кг/ч	l, м	Dy, мм	w, м/с	Rl, Па	ζ	Z, Па	Rl+Z, Па	R, Па/м
1	77680	2861,27	3,5	50	0,40743625	172,26798	1,5	118,9006	291,169	83,1910171
2	66975,6	2466,98	6	40	0,54889224	696,358675	1	143,8625	840,221	140,03686
3	56271,3	2072,7	6	40	0,46116615	496,268992	1	101,5519	597,821	99,6368221
4	45567	1678,42	6	32	0,58350011	1036,9392	1	162,5756	1199,51	199,919126
5	39034	1437,78	6	25	0,81894267	2741,16873	1	320,2435	3061,41	510,235378
6	32501	1197,14	6	25	0,68187877	1914,27447	1	222,0178	2136,29	356,048704
7	25968	956,506	6	25	0,54481486	1235,01638	1	141,7331	1376,75	229,458245
8	19435	715,869	6	25	0,40775096	703,4356	1	79,38955	782,825	130,470859
9	9717,5	357,934	16	20	0,31855543	1539,77633	12	581,4664	2121,24	132,577673
10	19435	715,869	6	25	0,40775096	703,4356	1	79,38955	782,825	130,470859
11	25968	956,506	6	25	0,54481486	1235,01638	1	141,7331	1376,75	229,458245
12	32501,1	1197,15	6	25	0,68188086	1914,286	1	222,0191	2136,31	356,050853
13	39034,1	1437,78	6	25	0,81894477	2741,18252	1	320,2452	3061,43	510,237949
14	45567,1	1678,42	6	32	0,58350139	1036,94364	1	162,5763	1199,52	199,919985
15	56271,4	2072,7	6	40	0,46116697	496,270704	1	101,5523	597,823	99,6371676
16	66975,7	2466,98	6	40	0,54889306	696,360701	1	143,8629	840,224	140,037269
17	77680	2861,27	6,5	50	0,40743625	319,926249	1,5	118,9006	438,827	67,5118197

22840,9 Па

Сопротивление кольца		
Запас давления	в долях	в процентах
	0,07434199	7,4341989
$(24538,99 - 22840,95) / 24538,99 = 0,07434 = 7,434\%$		